



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA PROVOZU ŠPITÁLKA

UTILIZATION OF WASTE HEAT FROM HEATING PLANT SPITALKA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Hromádka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Martin Hromádka

ID: 164290

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Využití odpadního tepla provozu Špitálka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teorie teplotního (elektrického) oběhu
2. Uplatnění teorie na provoz Špitálka (PŠ), popis oběhu na PŠ
3. Identifikace možných zdrojů odpadního tepla, odhad jejich potenciálu
4. Výpočet tepla využitelného ze zvoleného zdroje
5. Návrh uplatnění odpadního tepla a návrh technologického zařízení k využití odpadního tepla
6. Ekonomické zhodnocení nové technologie

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

HROMÁDKA, M. Využití odpadního tepla provozu Špitálka. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D..

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za jeho rady, vstřícnost při konzultacích a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Dále bych rád poděkoval konzultantovi Ing. Vojtěchovi Bohňovi za jeho čas, který si na mě vždy udělal, za velmi cenné rady během konzultací a za jeho vstřícnost při poskytování podkladů k řešení diplomové práce.

Chtěl bych poděkovat také mé rodině, za podporu, které se mi od nich během mého studia dostávalo.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



Diplomová práce

Využití odpadního tepla provozu Špitálka

Bc. Martin Hromádka

vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2018

Brno



Master's Thesis

Utilization of Waste Heat from Heating Plant Spitalka

by

Bc. Martin Hromadka

Supervisor: doc. Ing. Petr Mastny, Ph.D.

Brno University of Technology, 2018

Brno

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím odpadního tepla na provozu Špitálka. Mezi cíle práce patří vysvětlit obecný princip fungování tepláren, respektive teplárenského oběhu, popsat provoz Špitálka a pokusit se identifikovat případné zdroje odpadního tepla. Další cíle spočívají ve výpočtu odpadního tepla a návrhu jeho uplatnění. Závěrečným cílem práce bylo navrhnout technologické zařízení k využití odpadního tepla a provést ekonomické zhodnocení.

V práci je nejprve popsán princip fungování teplárenského oběhu. Je zde vysvětlena problematika kombinované výroby tepla a elektřiny, princip fungování hlavních technologických prvků, ale také například ekologie provozu či distribuce tepla prostřednictvím CZT. Následuje popis provozu na Špitálce. V práci je detailně zpracována problematika úpravy vody i popis technologického okruhu od jeho začátku až po distribuci k zákazníkovi. Dále je v práci identifikován zdroj odpadního tepla ve formě vody v uzavřeném chladícím okruhu. V práci je spočítáno množství této tepelné energie a dále navrženo její možné uplatnění. Jako uplatnění je zvoleno vytápění a ohřev TUV za pomoci tepelného čerpadla v jedné ze tří otopných větví na provozu Špitálka.

Na základě provedených výpočtů byla navržena otopná soustava využívající dvě tepelná čerpadla v bivalentním způsobu zapojení. Na závěr jsou shrnuty výsledky návrhu otopné soustavy a je provedeno ekonomické zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: teplárna; Špitálka; centrální zásobování teplem; odpadní teplo; vytápění; teplá užitková voda; TUV; tepelné čerpadlo; tepelné čerpadlo voda-voda; kogenerace; bivalentní systém

ABSTRACT

This master's thesis deals with utilization of waste heat from heating plant Spitalka. The aim of the thesis is to explain the general principle of the operation of the heating plants, respectively the heating circuit, then to describe the operation of heating plant Spitalka and to try to identify possible sources of waste heat. Other goals are to make the calculation of waste heat and to make the proposal for its utilization. The final aim of the thesis was to design technological device for utilization of waste heat and to carry out economic evaluation.

The master's thesis describes the principle of functioning of the heating circuit. It explains the issue of combined heat and power production, the principle of functioning of the main technological elements, but also the ecology of operation or distribution of heat through the district heating. Then there is a description of the heating plant Spitalka. The thesis also deals with the water treatment and the description of the technological circuit from the beginning to the distribution to the customer. Next, the waste heat source is identified as water in a closed cooling circuit. The amount of this heat energy is calculated and suggestions for its possible utilization are made. As an application, there are selected two systems, heating and domestic hot water heating. The heating is made by heat pump.

Based on the calculations, a heating system using two heat pumps in a bivalent way of connection was designed. In conclusion, the results of the design of the heating system are summarized and an economic evaluation is carried out.

KEY WORDS:

heating plant; Spitalka; district heating; waste heat; heating; domestic hot water; DHW; heat pump; heat pump water-water; cogeneration, bivalent system

OBSAH

OBSAH.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM GRAFŮ	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	15
2 TEORIE TEPLÁRENSKÉHO (ELEKTRÁRENSKÉHO) OBĚHU	16
2.1 TEPELNÝ OBĚH V TEPLÁRNÁCH.....	17
2.1.1 PROTITLAKOVÁ TURBÍNA	19
2.1.2 KONDENZAČNÍ ODBĚROVÁ TURBÍNA	20
2.1.3 VÝTOPNA.....	20
2.2 PALIVO.....	21
2.3 EKOLOGIE.....	21
2.4 DISTRIBUCE.....	23
2.5 ÚPRAVA VODY.....	24
2.6 PARNÍ KOTLE	26
2.6.1 BUBNOVÝ KOTEL S PŘIROZENOU CÍRKULACÍ	26
2.6.2 PRŮTOČNÝ KOTEL	27
2.7 REDUKČNÍ STANICE	27
3 PROVOZ ŠPITÁLKA	29
3.1 POPIS TECHNOLOGICKÉHO OKRUHU PŠ.....	29
3.2 PARAMETRY KOTLŮ A TURBOGENERÁTORŮ	32
3.3 ÚPRAVA VODY.....	34
4 ZDROJE ODPADNÍHO TEPLA A JEJICH POTENCIÁL	36
4.1 UZAVŘENÝ CHLADÍCÍ OKRUH (UCHO)	36
4.2 ODHAD (VÝPOČET) TEPELNÉHO POTENCIÁLU.....	37
4.3 GRAFY ZOBRAZUJÍCÍ ROZDÍLY VE VÝROBĚ TEPLA V RŮZNÝCH ZÁVISLOSTECH	39
4.4 PŘEHLED – ODPADNÍ TEPLO.....	41
4.5 ODPADNÍ TEPLO V PRŮBĚHU ROKU.....	41
5 NÁVRH UPLATNĚNÍ ODPADNÍHO TEPLA, NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ...49	
5.1 TEPELNÉ ČERPADLO	50
5.1.1 PRINCIP FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA	50
5.1.2 HODNOCENÍ ENERGETICKÉ EFEKTIVNOSTI PROVOZU TEPELNÝCH ČERPADEL	51
5.1.3 TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL.....	52
5.1.4 ZPŮSOBY PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA.....	53
5.2 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA NA PROVOZU ŠPITÁLKA	54
5.2.1 VÝPOČTY SOUVISEJÍCÍ S NÁVRHEM TČ.....	54
5.2.2 VOLBA TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO HLAVNÍCH SOUČÁSTÍ	57

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	59
6.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY	59
6.2 POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ TČ A CZT, NÁVRATNOST INVESTICE.....	60
7 ZÁVĚR.....	62
POUŽITÁ LITERATURA	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 - Schéma soustavy zásobování teplem [22]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-2 - Porovnání účinností oddělené výroby a systému KVET.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-3 - Rankin-Clausiiův parní oběh: a) schéma, b) T-s diagram, c) i-s diagram</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-4 - Tepelný oběh s teplárny: a) s odběrovou turbínou, b) s protitlakovou.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-5 - Diagram spotřeby tepla protitlakové turbíny [3]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2-6 - Základní tepelný oběh výtopny</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-7 - Podíl jednotlivých odvětví na emisích suspendovaných prachových částic</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2-8 - Dodávka tepla: a) v páře, b) v horké vodě [11]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 2-9 - Schéma úpravy vody.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 2-10 - Funkční schéma kotle: a) bubnového, b) průtočného [3]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 2-11 - Redukční stanice</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3-1 - Letecký pohled na teplárnu Špitálka [11]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-2 - Schéma tepelného oběhu PŠ.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3-3 - SCZT v blízkosti PŠ (m – horkovody, č – parovody, f – teplovody) [11].....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 3-4 - Schéma úpravy vody.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4-1 - Schéma uzavřeného chladicího okruhu.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-1 - Současný způsob vytápění</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 5-2 - Carnotův levotočivý oběh v T-s diagramu [27].....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5-3 - Technologické schéma tepelného čerpadla [27]</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 5-4 - Způsob provozu tepelných čerpadel [33]</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.5 - Schéma otopného systému.....</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - Přehled výhřevností</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 2 - Emise z tepeláren.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3 - Parametry kotlů</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 4 - Parametry turbogenerátorů</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 5 - Hodnoty z UCHO.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 6 - Vypočítané hodnoty odp. tepla pro tři různé pondělky</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 7 - Spotřeba tepla pro vytápění a TUV v průběhu roku 2017</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 8 - Potřeba TUV.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 9 - Potřebné hodnoty pro výpočet denní a roční potřeby tepla.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 10 - Potřebné hodnoty pro výpočet tepelných ztrát</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 11 - Přehled potřeby tepelné energie</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 12 - Přehled investičních nákladů.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 13 - Souhrnná tabulka, návratnost investic.....</i>	<i>61</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 - Průměrný hodinový výkon teplárny v průběhu dne.....</i>	<i>37</i>
<i>Graf 2 - Porovnání výroby tepla, všední den x víkend</i>	<i>39</i>
<i>Graf 3 - Výkon teplárny ze soboty 4.3. 2017.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 4 - Odpadní teplo ze soboty 4.3.2017.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 5 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, leden 2017.....</i>	<i>42</i>
<i>Graf 6 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, únor 2017.....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 7 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, březen 2017.....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 8 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, duben 2017.....</i>	<i>44</i>
<i>Graf 9 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, květen 2017</i>	<i>44</i>
<i>Graf 10 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, červen 2017.....</i>	<i>45</i>
<i>Graf 11 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, červenec 2017</i>	<i>45</i>
<i>Graf 12 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, srpen 2017.....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 13 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, září 2017</i>	<i>46</i>
<i>Graf 14 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, říjen 2017.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 15 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, listopad 2017.....</i>	<i>47</i>
<i>Graf 16 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, prosinec 2017.....</i>	<i>48</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Seznam symbolů

c	(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	měrná tepelná kapacita
D	(den·°C)	počet denostupňů
d	(dny)	počet dnů otopného období v roce
i	(J·kg ⁻¹)	entalpie
i ₀	(J·kg ⁻¹)	entalpie topné páry z protitlaké turbíny
i _{0'}	(J·kg ⁻¹)	entalpie kondenzátu
i ₁	(J·kg ⁻¹)	entalpie odběrové páry
i _{1'}	(J·kg ⁻¹)	entalpie kondenzátu
i _k	(J·kg ⁻¹)	entalpie výstupní páry z turbíny
i _{k'}	(J·kg ⁻¹)	entalpie zkondenzované vody
i _{inv'}	(J·kg ⁻¹)	entalpie napájecí vody
p ₀	(Pa)	protitlak
p ₁	(Pa)	tlak odběrové páry
p _a	(Pa)	tlak admisní páry
P _{el}	(W)	elektrický výkon
p _k	(Pa)	tlak kondenzační
Q	(J)	teplo
Q _C	(W)	tepelná ztráta objektu
Q _n	(J·kg ⁻¹)	výhřevnost paliva
s	(J·K ⁻¹)	entropie
T	(K)	termodynamická teplota
t ₁	(°C)	teplota studené vody
t ₂	(°C)	teplota ohřáté vody
t _a	(°C)	teplota admisní páry
t _{es}	(°C)	průměrná venkovní teplota v otopném období
t _{is}	(°C)	průměrná vnitřní výpočtová teplota
t _{svl}	(°C)	teplota studené vody v létě
t _{svz}	(°C)	teplota studené vody v zimě
V _{2p}	(m ³ ·den ⁻¹)	denní potřeba vody pro přípravu teplé vody
z	(-)	tepelné ztráty při ohřevu a distribuci

ρ	$(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	hustota
ε	(-)	opravný součinitel
η_g	(-)	účinnost generátoru
η_k	(-)	účinnost kotle
η_{KVET}	(-)	účinnost kombinované výroby
η_m	(-)	mechanická účinnost
η_{ODV}	(-)	účinnost oddělené výroby
η_p	(-)	účinnost potrubí
η_{td}	(-)	termodynamická účinnost turbíny

Seznam zkratk

COP	Coefficient of Performance
CZT	centrální zásobování teplem
DZT	decentralizované zásobování teplem
EKO	ohřívací vody
EN	napáječky
ES	elektrizační soustava
G	generátor
K	kotel
KČ	kondenzátní čerpadlo
KN	kondenzátní nádrž
KON	kondenzátor
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
M	množství teplotnosné látky
OČ	oběhové čerpadlo
OV	ohřívací
PŘ	přehřívací
PŠ	provoz Špitálka
RS	redukční stanice
SAKO	Spalovna komunálních odpadů
SCZT	soustava centrálního zásobení teplem
ŠO	špičkový ohřívací
TČ	tepelné čerpadlo
TG	turbogenerátor
TTO	těžký topný olej
TUV	teplá užitková voda
UCHO	uzavřený chladicí okruh
ZO	základní ohřívací
ZEVO	zařízení pro energetické využití odpadu

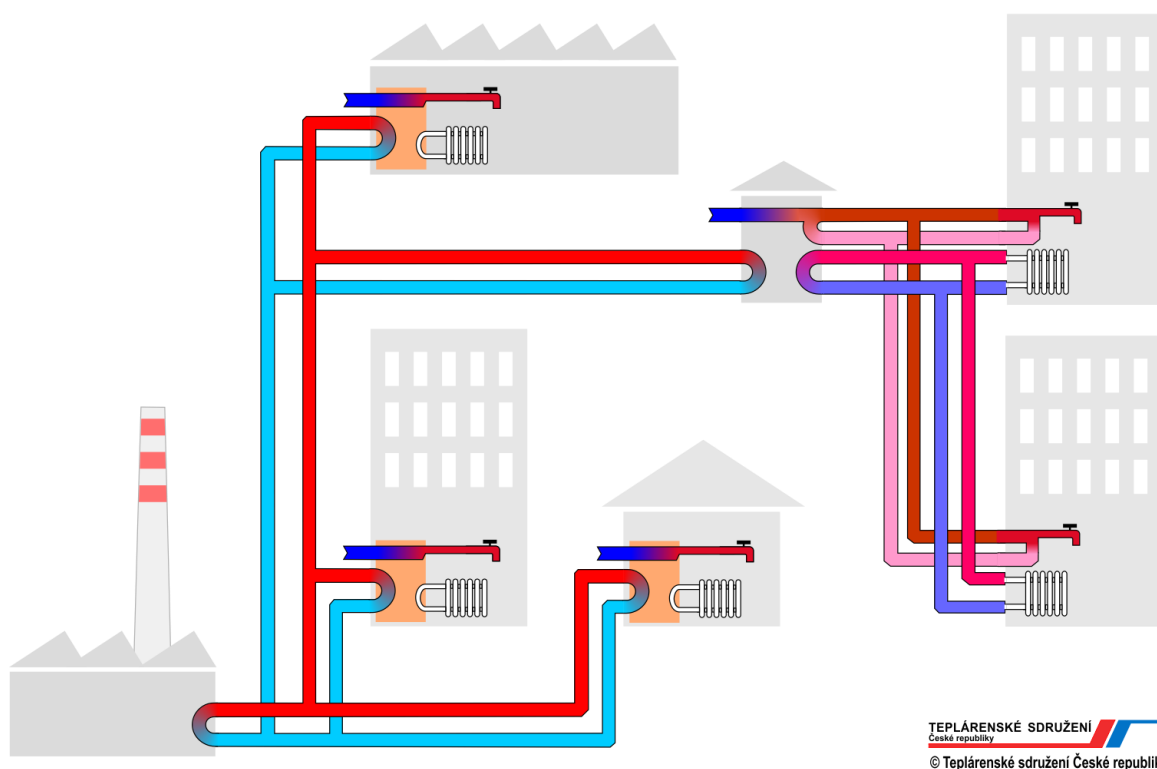
1 ÚVOD

Dnešní energetika je stále více tlačena do koutu různými ekologickými vyhláškami, a proto je dnešním trendem přistupovat k výrobě elektřiny i tepla alternativními, respektive obnovitelnými, zdroji energie. Dalším velmi důležitým faktorem je samozřejmě ekonomika provozu jednotlivých zdrojů. Shrňeme-li tyto dva faktory dohromady, dostaneme se k jasnému závěru. Trend jde cestou ekologicky nezávadnou a ekonomicky nejvýhodnější. Budeme-li se bavit o vytápění jako takovém a budeme-li se chtít řídit podle nastoleného trendu, pravděpodobně se nám nenabízí lepší varianta než tepelné čerpadlo. Jelikož se snažíme udržet co nejnižší ekonomiku provozu zdroje, patří sem i náklady na jeho vybudování. Bavíme-li se o tepelných čerpadlech, tak i zde je možné pošetřit nějaké finance, například využitím odpadního tepla. Diplomová práce má za úkol seznámit čtenáře s problematikou teplárenství v ČR, možnostmi využití odpadního tepla a s teorií tepelných čerpadel, doplněnou návrhem takového zařízení. Diplomovou práci uzavře ekonomické ohodnocení.

Práce se podrobně zabývá teorií fungování teplárenského oběhu a tepláren jako takových. Technologie tepláren je v práci rozebrána od úpravy vody až po distribuci tepla k zákazníkovi. Postupně je rozebrána problematika úpravy vody, samotného Rankin-Clausiova oběhu, kotlů, turbín, redukčních stanic, ale také ekologie provozu. V teoretické části je popsána i distribuce tepla k zákazníkovi. V další části práce je detailně popsána úprava vody na provozu Špitálka, stejně tak jako jeho tepelný oběh. Dále se práce zabývá problematikou související s odpadním teplem. Je identifikován zdroj odpadního tepla a vypočteno jeho množství. V závislosti na potenciálu odpadního tepla je v další části práce navržen způsob, kterým by se dala tato energie využít. Další kapitola pojednává o navržení technologického zařízení k využívání energie ve formě odpadního tepla. Jedná se o návrh tepelného čerpadla voda – voda. Po návrhu zařízení je provedeno ekonomické zhodnocení tohoto nově navrženého systému. V závěru práce jsou zhodnoceny důležité poznatky z diplomové práce.

2 TEORIE TEPLÁRENSKÉHO (ELEKTRÁRENSKÉHO) OBĚHU

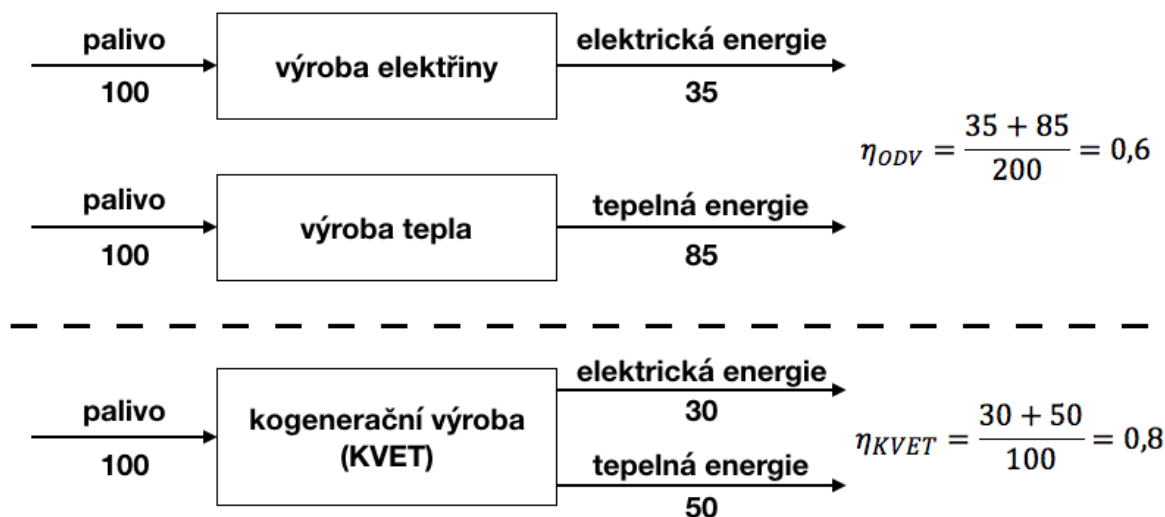
Všichni jistě známe ten pocit, když je venku špatné počasí, a tak raději zůstáváme v hřejivém teple za okny našich domů či bytů. O to, že nám v takovýchto dnech není zima, se stará určitý druh vytápění našeho obydlí. Máme totiž několik možností jak náš příbytek vytopit. Velká většina domácností si zajišťuje teplo domova sama, a to prostřednictvím plynových kotlů, kondenzačních kotlů, tepelných čerpadel, kotlů na tuhá paliva, elektřinou a dalšími možnými způsoby. Tomuto způsobu vytápění říkáme decentralizované zásobování teplem (DZT). Pak tu máme ale takové domácnosti či průmyslové podniky, které se nachází v blízkosti tepláren, nejčastěji ve velkých městech nebo v jejich blízkosti a tito spotřebitelé většinou využívají teplo, které je ve velkém množství vyráběno v teplárnách, resp. výtopnách, ve formě horké páry nebo horké (teplé) vody a pomocí distribučního systému je vyvedeno ke spotřebiteli. Jedná se z velké části o panelákové a bytové domy, ale také o velká obchodní centra nebo různé průmyslové podniky. Takovému způsobu vytápění říkáme centralizované zásobování teplem (CZT) a schéma takového systému můžeme pozorovat na Obr. 2.1. Soustavy centrálního zásobování teplem tedy zahrnují jeden či více zdrojů tepla (tepláren, výtopen), distribuční tepelné sítě, ale také předávací stanice tepla. Mezi výhody decentralizované výroby tepla můžeme jednoznačně zařadit nezávislost na topné sezóně. Lidově řečeno si tedy můžeme v případě potřeby zatopit prakticky kdykoliv, což u centralizovaného zásobování teplem neplatí, neboť jsme závislí na dodavateli. Na druhou stranu, druhý jmenovaný způsob vytápění vychází levněji. V této kapitole diplomové práce obecně rozebereme teorii fungování tepláren.



Obr. 2-1 - Schéma soustavy zásobování teplem [22]

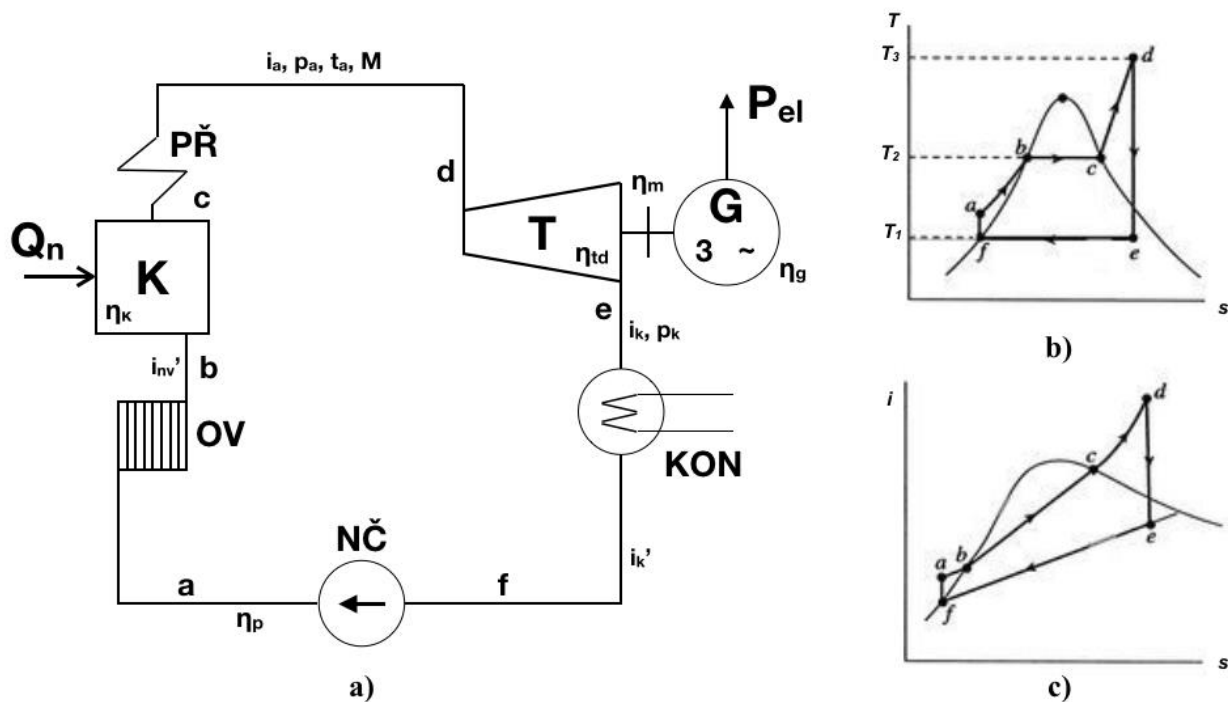
2.1 Tepelný oběh v teplárnách

Pro začátek je dobré uvést, že v teplárnách jde primárně o získání tepelné energie pro možnou distribuci ke spotřebiteli a ne jako u kondenzačních elektráren o výrobu elektrické energie. Ovšem i v dnešních teplárnách dochází k výrobě elektřiny, a to tak, že se praktikuje tzv. kogenerace, neboli kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET). Jedná se o ekonomicky výhodnou strategii, jak efektivně vyrobit teplo, ale zároveň i elektřinu, a maximálně při tom využít energii primárního paliva.



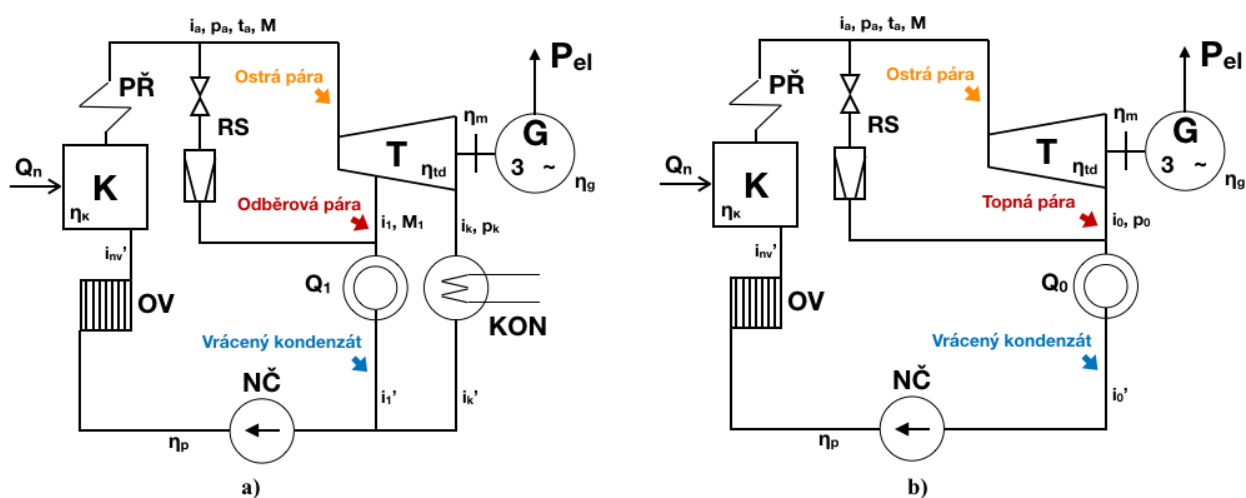
Obr. 2-2 - Porovnání účinností oddělené výroby a systému KVET

Můžeme rozlišovat teplárny dvojího druhu. Teplárny s kondenzační odběrovou turbínou nebo s protitlakou turbínou. Tepelný oběh, na jehož základě pracují teplárny, ale rovněž tak i klasické tepelné elektrárny, se jmenuje Rankin-Clausiusův cyklus. Schéma tohoto parního oběhu můžeme vidět na Obr. 2.3, stejně tak jako T-s a i-s digramy tohoto oběhu. Na obrázku je vyobrazen Rankin-Clausiusův parní oběh pro klasickou tepelnou elektrárnu s kondenzační turbínou. V našem případě, tedy teplotním, se bude popis tohoto cyklu lišit jiným druhem turbíny, stejně tak jako jiným způsobem získávání kondenzátu. Nicméně princip termodynamických změn, které v oběhu nastávají, zůstává stejný. Nejprve napájecí čerpadla naženou vhodně chemicky upravenou vodu přes ohřívací systémy do kotle, přičemž zde dochází ke kompresi, tedy tlakovému přírůstku, čerpadlem. Poté je voda, jež byla dopravena do kotle, izobaricky (tedy za stálého tlaku) ohřívána a odpařována ve výparníku. V kotli tedy dochází k uvolnění tepelné energie chemicky vázané v palivu a k předání této tepelné energie vodě, což vyústí v její odpaření a výrobě páry. Dále zde dochází k izobarickému přehřívání páry v přehříváku, které je následováno adiabatickou expanzí páry na turbíně. Na Obr. 2.3 b) i c) můžeme pozorovat ideální adiabatickou expanzi, ale v reálné turbíně se však vlivem ztrát při expanzi a třením mírně zvyšuje entropie a entalpie, a tak se nejedná o ideální adiabatickou expanzi. Nyní, v závěrečné fázi okruhu, dochází ke kondenzaci páry. Ta probíhá podle druhu použité technologie buď v kondenzátoru u odběrových turbín, nebo ve výměníkových stanicích u spotřebitelů a kondenzát se poté vrací zpět do tzv. kondenzátní nádrže. Poté se celý cyklus opakuje.



Obr. 2-3 - Rankin-Clausiusův parní oběh: a) schéma, b) T-s diagram, c) i-s diagram

Jak je již zmíněno výše, teplárny mohou být provozovány buď s protitlakovou turbínou anebo s kondenzační odběrovou turbínou. Odběrové parní turbíny jsou nejčastěji navrhovány tam, kde je větší část vstupní páry odebírána jako tzv. pára odběrová do různých průmyslových podniků nebo v takových teplárnách, kde se využívá regeneračního ohřevu ke zvyšování účinnosti tepelného oběhu. Naproti tomu protitlakové turbíny jsou navrhovány tam, kde je třeba zajistit vytápění převážně velkých městských čtvrtí. Schéma tepelného oběhu s oběma druhy turbín je možno vidět na Obr. 2.4.



Obr. 2-4 - Tepelný oběh s teplotárnou: a) s odběrovou turbínou, b) s protitlakovou

2.1.1 Protitlaková turbína

Pára na výstupu z protitlakové turbíny má takový tlak, aby se dal použít pro připojené spotřebiče tepla, resp. takový tlak, jaký si žádá daný technologický proces. Jak je naznačeno výše, za tímto typem turbíny se nenachází klasický kondenzátor, jak ho známe z klasických kondenzačních elektráren, neboť je nahrazen spotřebiči tepla. Teoreticky bychom tedy mohli říct, že veškeré teplo, které je páře dodáno v kotli, se spotřebovává. Hlavní nevýhodou protitlakových turbín je fakt, že velikost elektrického výkonu je přímo závislá na množství tepla dodaného ke spotřebiteli. Jinak řečeno pokud si spotřebitel nežadá teplo například mimo topnou sezónu, elektrický výkon je malý. Jinými slovy tedy můžeme říct, že elektrický výkon závisí na odebraném množství páry. Jeden z hlavních ukazatelů fungování teplárny s protitlakovými turbínami je tzv. teplotní součinitel. Ten se vypočítá jako

$$\alpha = \frac{Q_T}{Q_{max}} \quad (-) \quad (2.1)$$

a roční teplotní součinitel jako

$$\alpha_r = \frac{Q_t^r}{Q^r} \quad (-) \quad (2.2)$$

kde

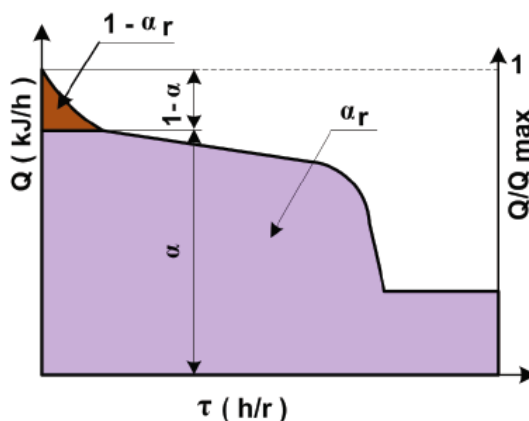
Q_T podíl maximální spotřeby tepla dodávaný párou z turbíny (GJ/h)

Q_{max} maximální dodávka tepla (GJ/h)

Q_t^r roční dodávka tepla párou z turbíny (GJ/r)

Q^r roční dodávka tepla (GJ/r)

Turbína je schopná dodat určité množství tepla za jednotku času. Protože je provoz teplárny, například oproti výtopně, daleko více ekonomicky náročný, musí se turbína správně nadimenzovat. Jak je z diagramu spotřeby tepla turbíny (Obr. 2.5) patrné, maximální spotřeba turbíny nastává jen ve zlomku času z roku, a proto by se nevyplatilo turbínu navrhovat na tuto hodnotu, neboť by potom zbývající čas turbína pracovala na nižším hmotnostním průtoku, než na který je dimenzována.



Obr. 2-5 - Diagram spotřeby tepla protitlakové turbíny [3]

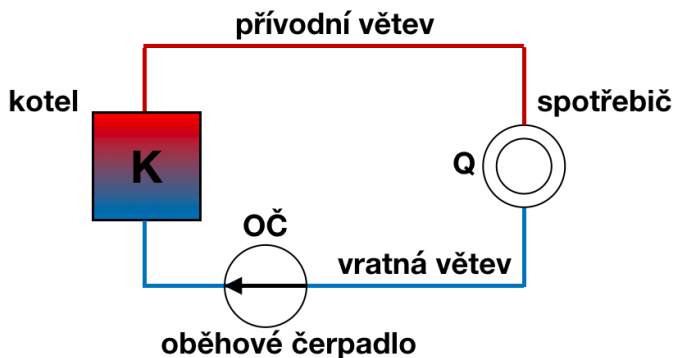
Z tohoto důvodu se vždy podle předpokládané spotřeby stanoví teplotní součinitel, který bývá $\alpha < 1$, to znamená, že se přes turbínu dodává pouze určitá část tepla. Když je potřeba zaplnit maximální spotřebu, tak se využije redukční stanice, resp. redukční ventil. Turbína tak funguje s větším využitím. Celková účinnost takovýchto kogeneračních teploten dosahuje kolem 80 %, takže by se mohlo nabízet tvrzení, že by se daly použít místo klasických kondenzačních elektráren na výrobu elektřiny. Bohužel by to nebylo možné, neboť spotřeba elektřiny a spotřeba tepla se v zásadě neshodují ani přes den, ale rovněž ani přes celý rok. Nastaly by potom problémy, například v létě, kdybychom potřebovali vyrábět elektřinu, ale ne teplo, jelikož bychom ho neměli kde spotřebovávat. Můžeme tedy tvrdit, že elektrický výkon, který se získá z protitlakových turbín, je výkon závislý, neboť přímo souvisí s odběrem tepla. O něco jiný případ by mohl nastat u teploten s kondenzační odběrovou turbínou, o kterých je pojednáno v následující podkapitole.

2.1.2 Kondenzační odběrová turbína

Kondenzační odběrová turbína je vzhledem ke svému zapojení a způsobu regulace schopná v celkem velkém rozsahu umožnit nezávislou výrobu elektřiny a tepla. Turbína se skládá z více dílů a může mít jak neregulované odběry, tak i regulované. Po částečné expanzi na vysokotlakém dílu turbíny je pára vedena ke spotřebitelům a zbytek expanduje v nízkotlakém dílu turbíny. V dnešních moderních teplotnách je tento druh turbíny velmi využíván a tepelné schéma takového teplotny je podobné tomu u elektrárny s klasickou kondenzační turbínou. Schéma tepelného oběhu s kondenzační odběrovou turbínou je možno vidět na Obr. 2.4 a).

2.1.3 Výtopna

Jakožto další zdroj tepelné energie, která může být distribuována ke spotřebiteli, je výtopna. Ta sice nepracuje na principu Rankin-Clausiova tepelného oběhu, ale na faktu, že se tepelný nositel, většinou voda, ohřívá nebo vypařuje v kotli, a poté je toto médium vedeno ke spotřebiteli, kde odevzdává své teplo. Jedná se o výrobu pouze tepelné energie a nikoliv elektrické. Výroba tepla probíhá při zhruba 85-ti procentní účinnosti a teplo je zde vyráběno pomocí horkovodních nebo parních kotlů. Ty poté distribuují buď páru, nebo horkou vodu, do předávací stanice ke spotřebiteli. Obecně je však vhodnější vyrábět teplo pomocí teploten, neboť se tam dosahuje vyššího využití primárního paliva než při oddělené výrobě, přičemž výroba tepla v KVET dosahuje účinnosti zhruba 50 %. O tom, zdali postavit teplotnu či výtopnu, rozhoduje jednak velikost odběru, ale také předpokládaná spotřeba v daném místě, a to jak ve dne, tak i v noci. Schéma základního tepelného oběhu výtopny je vidět na Obr. 2.6.



Obr. 2-6 - Základní tepelný oběh výtopny

2.2 Palivo

Rozhodnutí o tom, jaká se v dnešní době v teplárnách používají paliva, záleží na velkém množství faktorů. Hlavními ukazateli jsou ale samozřejmě ekonomická stránka, náročnost dostupnosti paliva a hlavně také ekologická stránka. Neboť každá teplárna, ale obecně i každá elektrárna, musí splňovat složité emisní požadavky. Obecně můžeme použít buď tuhá, kapalná anebo plynná paliva. Mezi hlavní zastupitele tuhých paliv můžeme zařadit například hnědé i černé uhlí, dřevo, rašelinu, koks, tuhá odpadní paliva, biomasu a mnoho dalších. Mezi kapalná paliva můžeme zařadit například benzín, motorovou naftu, petrolej, nebo rovněž ropu, která je směsí kapalných, pevných a plyných látek, přičemž jednotlivé složky jsou mezi sebou rozpuštěny. Hlavní podíl ropy ale tvoří látky kapalné, proto je zařazena do kapalných paliv. Poslední skupinou jsou paliva plynná. Jako příklad pro plynná paliva si uvedeme technické topné plyny a plyny uhlovodíkové. V České republice se pro výrobu tepla v teplárnách či výtopnách využívají nejčastěji hnědé uhlí, zemní plyn, který je považován za nejušlechtlejší a nejekologičtější fosilní palivo, a v současné době už i biomasa. Pod tímto pojmem si můžeme představit substanci, resp. látku, biologického původu, která je záměrně získávána jako například odpad ze zemědělské výroby nebo je dokonce záměrně pěstována. Výroba tepla v České republice z biomasy je zprostředkována hlavně prostřednictvím dřevní štěpky a celulózovými výluhy. Jedním z hlavních předpokladů pro správný výběr paliva je nespochybně výhřevnost daného paliva. Přehled o výhřevnostech různých paliv je vidět níže v Tabulce 1.

Palivo	Výhřevnost	Palivo	Výhřevnost
Zemní plyn	33,48 MJ/m ³	Proplástek, Ostrava	14,79 MJ/kg
Propan	46,40 MJ/kg	Koks otopový	27,49 MJ/kg
LTO	42,30 MJ/kg	Lignit	8,79 MJ/kg
Dřevo palivové	14,62 MJ/kg	Brikety	23,05 MJ/kg
Dřevěné brikety	16,21 MJ/kg	Sláma obilná	15,50 MJ/kg
HU prachové, Most	11,72 MJ/kg	Komunální odpad	9,12 MJ/kg
HU tříděné, Most	17,18 MJ/kg	Papír	14,11 MJ/kg
HU prachové, Sokolov	10,49 MJ/kg	Pryžový odpad	34,92 MJ/kg
HU tříděné, Sokolov	14,17 MJ/kg	TTO	40,61 MJ/kg
ČU prachové, Ostrava	22,78 MJ/kg	Motorový nafta	42,61 MJ/kg
ČU energetické, Ostrava	29,21 MJ/kg	Autobenzín	43,59 MJ/kg
ČU prachové, Kladno	15,57 MJ/kg	Svítiplyn	14,50 MJ/m ³
ČU energetické, Kladno	22,61 MJ/kg	Zemní plyn karbonský, důlní	30,11 MJ/m ³
UVKP, Ostrava	27,51 MJ/kg	Koksárenský plyn	15,62 MJ/m ³
Kaly, Ostrava	16,71 MJ/kg	Vysokopeční plyn	3,81 MJ/m ³

Tabulka 1 - Přehled výhřevností

2.3 Ekologie

Jak je již výše uvedeno, v dnešním teplárenství se velmi ostře kontroluje ekologie provozu. Množství emisí, která teplárny vypouštějí do vzduchu, závisí hlavně na technologickém vybavení dané teplárny a na použitém primárním palivu. Emise škodlivých látek jsou způsobeny především spalováním fosilních paliv. Mezi hlavní škodlivé látky, které jsou obsaženy v ovzduší, patří oxid

siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhličitý a tuhé částice ve formě prachu a popílku. Jakožto opatření proti emisím oxidu siřičitého provádíme tzv. odsiřování. To funguje na takovém principu, že se do proudu spalin přidávají absorpční látky, jako například sádra nebo dolomit, a ty na sebe posléze vážou vzniklé sloučeniny síry. Odsiřování může probíhat před spalováním formou úpravy paliva, při spalování přidáváním různých aditiv do paliva anebo po spalování ve formě odsiřování spalin. Existuje mnoho metod odsiřování, ale mezi ty základní řadíme jednoznačně metody suché, polosuché a mokré. Přičemž u suché metody reaguje oxid siřičitý s absorpční látkou v tuhém stavu, u polosuché dochází k injektování suspenze do horkých spalin, odpaření kapaliny a zachycení škodlivých částic v tuhém stavu a u mokré metody se oxid siřičitý zachytává v absorpční kapalně látce. Dalšími škodlivými látkami, které pomocí určité technologie v teplotně minimalizujeme, jsou oxidy dusíku. Ty se v nemalém množství podílejí například na vznik kyselých dešťů a smogu. Máme dvě metody jak dochází ke snižování vzniku škodlivých oxidů dusíku. A to primární metodu, která zabráňuje vzniku oxidů dusíku již v průběhu spalování a sekundární metodu, která odstraňuje oxidy dusíku ve spalinách. Posledními škodlivými látkami, které nám teplotny produkují, jsou tuhé částice. Ty bývají odstraňovány pomocí technologie, která se nazývá odlučování, respektive odlučovače tuhých částic. Ty fungují na různých principech. Mezi základní považujeme určitě odlučovače fungující na základě aerodynamických sil, jako jsou žaluzie nebo odprašovací a usazovací komory, kde se využívá změny směru a rychlosti proudění anebo cyklonové, které fungují na principu odstředivé síly. Dále zde máme tkaninové filtry nebo elektrostatické odlučovače, které jsou velmi účinné a principiálně zde v elektrickém poli mezi elektrodami dochází k odklonu částic, které se posléze z elektrody odeberou. Posledním odlučovačem, který minimalizuje znečištění ovzduší tuhými částicemi, se nazývá mokrá odlučovač, ve kterém dochází k vypírání spalin.

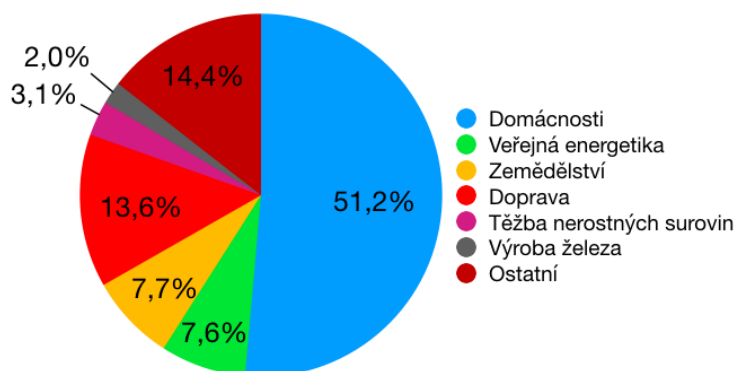
Aby se minimalizovaly emise těchto škodlivých látek, teplotny vynakládají ohromné investice za modernizační ekologická opatření. Teplotny v České republice vynaložily od roku 2013 do konce roku 2016 na tyto opatření skoro 19 miliard korun. Díky těmto opatřením se podle Teplotenského sdružení České republiky teplotnám podařilo snížit emise oxidů dusíku o 23 %, oxidu siřičitého asi o 32 % a prachu o zhruba 36 %. V tabulce níže je možné vidět sestupné množství emisí znečišťujících látek z teploten v rozmezí třech let, kdy probíhaly velké modernizační práce.

Znečišťující látka	Emise znečišťujících látek v letech 2014-2016 [t/r]			Snížení emisí v tomto období	
	2014	2015	2016	[t/r]	[%]
NO _x	22493	20517	17287	-5206	-23,1
SO ₂	39021	37747	26599	-12422	-31,8
Prach	1264	1011	805	-459	-36,3

Tabulka 2 - Emise z teploten

Od počátku 90. let minulého století, kdy se začaly emise u nás kontrolovat, klesly emise z velkých zdrojů u oxidu siřičitého až o 93 %, u oxidů dusíku o 83 % a u prachu až o 98 %. Teplotny se tak dnes již posunuly do pozice, kdy nejsou hlavním problémem z hlediska znečištění ovzduší. Podle předsedy výkonné rady Teplotenského sdružení ČR dnes teplotny čelí

velice přísným požadavkům EU, které už jsou na hraně technických možností. Titulem hlavních znečišťovatelů se tak mohou „pyšnit“ dopravní prostředky a lokální topeniště. Obzvláště velkým problémem jsou suspendované prachové částice (PM_{2,5}), které napříč Evropou způsobily nezanedbatelný počet předčasných úmrtí. Podle dat z Českého meteorologického ústavu více jak polovina těchto částic pocházela právě z domácností, což ilustruje graf na Obr. 2.7 níže. Pokud porovnáme, kolik emisí tuhých látek vylétlo z komína rodinného domu, a kolik z komína tepelné spalující uhlí, výsledek bude následující. „Rodinný domek s prohořivacím kotlem na pevná paliva a spotřebou 80 GJ tepla vypustí ročně do ovzduší 65 kg prachu. Komín modernizované uhelné tepelné spalující uhlí vypustí při stejné dodávce tepla domácnostem po ekologizaci průměrně jen 0,2 kg prachu. Jeden rodinný domek se starým kotlem má stejný efekt jako 325 bytů připojených na modernizovanou tepelnou spalující uhlí.“ [17]



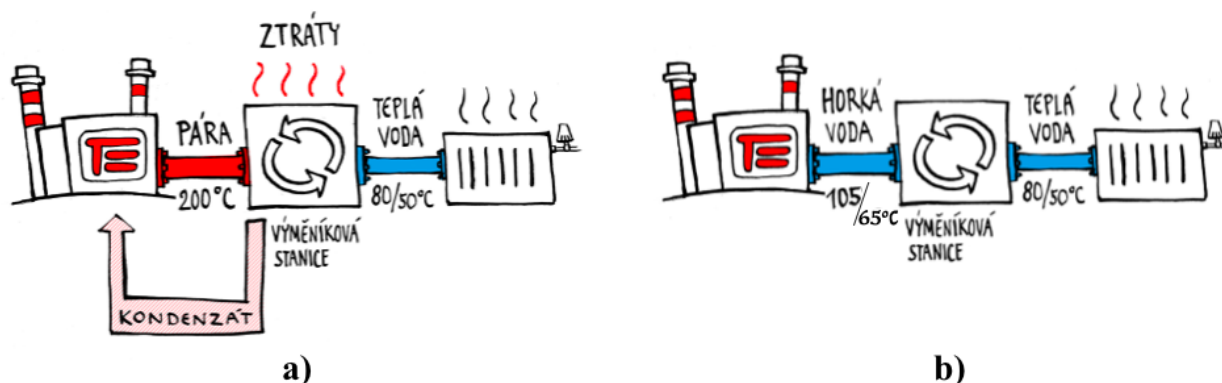
Obr. 2-7 - Podíl jednotlivých odvětví na emisích suspendovaných prachových částic v roce 2014

2.4 Distribuce

Nyní se budeme zabývat přenosem tepla z tepelné spalující uhlí ke spotřebiteli. Teplo může být distribuováno buď prostřednictvím syté či lehce přehřáté páry, nebo prostřednictvím horké, popřípadě teplé vody. Systému, kdy je tepelným médiem pára, říkáme parní tepelná síť, a v případě přenosu tepla zprostředkovaného vodou mluvíme o vodní tepelné síti. Potrubí, které se stará o přenos tepelné energie se nazývá jednoduše podle druhu média buď parovod, nebo horkovod. Dále se potrubí mohou dělit podle způsobu uložení na nadzemní a podzemní. V dnešní době se prosazuje ukládat potrubí do země, neboť nadzemní potrubí zabírá půdu. Oba dva druhy mají jisté výhody i nevýhody. Nadzemní potrubí je levnější, na druhou stranu je ale náročnější provozně, neboť v zimě je při náhlé nutnosti odstavení potrubí vystaveno mrazům. Dále je téměř nepoužitelné pro účely velkých, hojně zastavěných měst. Oproti tomu podzemní potrubí se provozuje lehčeji, na druhou stranu ale musí čelit tlakům půdy obklopující potrubí a vysokým hladinám podzemní vody, která nesmí přijít do styku s tepelnou izolací potrubí. Tyto problémy se dnes řeší tak, že se potrubí vkládají do tzv. podzemních kanálů. Další způsob, jak lze dělit potrubí, je podle počtu použitých potrubí na jednotrubkové, dvojtrubkové a trojtrubkové. Nutno podotknout, že sítě jednotrubkové jsou v podstatě nepoužívané, respektive pokud jsou používány, tak jen ve velmi minimálně. U nejpoužívanějších, dvoutrubkových, potrubí se vždy vede teplo ve formě páry či vody ke spotřebiteli, tam odevzdá teplo ve staničním výměníku, zkondenzuje, a druhým potrubím se vede kondenzát zpět do tepelné spalující uhlí v případě parovodů a do staničního výměníku v případě horkovodů.

Celý systém CZT je založen na principu, že teplo je vyráběno ve velkých zdrojích, tepelných či výtopnách, a dodáváno právě pomocí parovodů a horkovodů do staničních

výměníků ke spotřebitelům, což je možno vidět na Obr. 2.8. Ve staničních výměnících dochází k odevzdání tepla do spotřebitelského okruhu. Okruh u spotřebitele přijme teplo a rozvádí ho k jednotlivým spotřebičům v domácnosti a kondenzuje. Celý cyklus se opakuje. Schéma takového systému je možno vidět na Obr. 2.1. Do sítě CZT může být zapojeno více tepláren či výtopen, které se podílejí na výrobě tepla podle spotřeby a volí se zpravidla neekonomičtější provoz. Soustava CZT by se v podstatě dala přirovnat k elektrizační soustavě (ES), neboť v CZT pracují zdroje tepla, stejně jako v ES elektrické zdroje, do jedné soustavy. Pokud mluvíme o rozvodu páry, jedná se zpravidla o sytou páru, méně potom o lehce přehřátou páru, která má tlak výrazně vyšší než je tlak omezující oblast nízkých tlaků pro otopné soustavy, což je přibližně 0,049 MPa. Jedná-li se o vodní teplotní síť, mluvíme zde o teplotách vody do 110 °C u teplovodního rozvodu, respektive do 150 až 180 °C u rozvodu horkovodního. Při provozu horkovodů a teplovodů je zapotřebí udržet tlak nad hodnotou určující mez sytosti vodní páry, neboť pokud by tlak klesl pod tuto mez, kapalina by se začala vypařovat a prostřednictvím neřízené kavitace poškozovat potrubí. Kavitace, jinak řečeno dutina, vzniká právě sníženým tlakem v kapalině a při opětovném zvýšení tlaku dochází k destrukci bubliny v dutině a vzniká rázová vlna. V dnešní době spousty tepláren vyměňují staré parovody za nové horkovody. Důvodem je vysoký teplotní rozdíl vstupní páry a výstupní teplé vody ve staničních výměnících a s tím související ztráty. Dalšími důvody pro použití horkovodů je snížení čerpací práce (není potřeba odvod kondenzátu), menší zátěž technologie a celkově snadnější provoz.



Obr. 2-8 - Dodávka tepla: a) v páře, b) v horké vodě [11]

2.5 Úprava vody

Jelikož u parních oběhů je médiem nosící teplo právě voda, je pochopitelné, že na jejím složení a kvalitě bude velmi záležet. Z tohoto důvodu mají teplárny i elektrárny speciální technologický proces, kterému se říká úprava vody nebo též obecně vodní hospodářství. Je ve vlastním zájmu dané výroby, aby byla voda kvalitně upravena, neboť tato problematika má vliv na spolehlivost a hospodárnost daného provozu. Zároveň je nutno dodržovat ekologické předpisy. „Ze spolehlivostních vlastností ovlivňuje nejvíce bezporuchovost, životnost, opravitelnost a udržitelnost.“[1] Pokud v oběhu proudí nekvalitně upravená voda, nejvíce trpí kovové materiály, u kterých dochází k teplotní únavě materiálu a při velkých teplotách k tečení a stárnutí materiálu nebo dokonce ke korozi. Jak je výše poznamenáno, tato problematika má vliv také na hospodárnost provozu. „Jde zejména o zhoršení prostupu tepla a zhoršení účinnosti v důsledku vnitřních a vnějších nánosů na teplosměnných plochách.“[1] Za tento fakt může především špatná tvrdost vody, velké množství suspendovaných látek v médiu a nečistá pára. V teplárnách a

elektrárnách bývá voda upravována tak, aby vyhovovala dané technologii. Podle toho ji pak také dělíme např. na vodu napájecí, chladicí, kotelní apod.

Samotnou fázi, kdy dochází k úpravě vody, můžeme rozdělit na tři části. Předúpravu, demineralizaci a odplynění.

Říční resp. surová voda obsahuje jednak minerály rozpuštěné ve vodě, ale také látky nerozpuštěné ve formě kalu. Kal se odstraňuje pomocí číření a filtrace. Mezi nejvíce problematické rozpuštěné látky patří zejména:

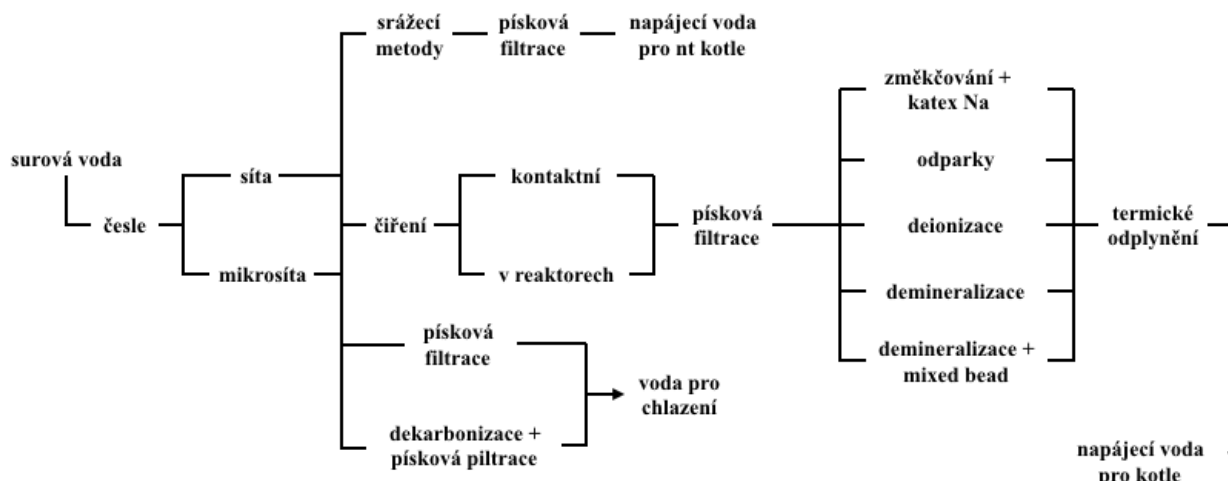
- Ca, Mg – Způsobují tvorbu vodního kamene. Ten brání přestupu tepla a způsobuje místní přehřátí.
- Si – U tlaků vyšších než 6,5 MPa se rozpouští v páře. Při poklesu tlaku se vylučuje na lopatkách turbíny, což má za následek horší proudění.
- O₂ – Způsobuje důlkovou korozi.
- CO₂ – Způsobuje plošnou korozi.

Tyto látky se odstraňují pomocí tzv. ionexových filtrů, které jsou určeny zejména ke změkčování a k neutrální dekarbonizaci. Ionexové filtry jsou buď KATEX, které mají za úkol odstranit kationty z vody nebo ANEX, jejichž úkolem je odstranit naopak anionty z vody.

- KATEX – Jejich funkční skupina obsahuje záporný náboj. Mění soli na kyseliny a pohlcuje kationty prvků, jež tvoří soli kyselin, tj. např. Na, Ca, Mg, které mají kladný náboj a říkáme jim protionty. Tyto prvky jsou nahrazeny vodíkem a vzniká kyselina.
- ANEX – Jejich funkční skupina obsahuje kladný náboj. Rozkládá kyseliny, pohlcuje prvky, jejichž kyslíčníky tvoří kyseliny a nahrazuje je protionty, nejčastěji OH- nebo Cl-. Po sloučení s vodíkem zbylým z kyseliny vzniká H₂O. Prvky, jež nejčastěji anexy pohlcují, jsou C, S a Si.

O₂ a CO₂ jsou odstraňovány v odplynováku. Můžeme mít tři druhy odplynováku, a to kaskádové, sprchové nebo atomizační. Principiálně to funguje tak, že voda přijde do styku s topnou parou, a tím jak se voda ohřívá, dochází k uvolňování plynů a k jejich odvádění.

Další věc, která se kontroluje u napájecí vody je její pH. Pokud by byla voda s pH 7, tedy neutrálním, tak na sebe bude vázat kyslíčníky a způsobovat korozi. Pro napájecí vodu bývají požadavky, aby pH bylo spíše zásadité, většinou kolem 8,5 až 9,5. To je ovšem určeno druhem kotle, a tak se to může na různých teplárnách lišit. Proto se do potrubí na výstupu z demineralizace přidává NH₃ a do bubnu fosfát. Tyto látky zvyšují pH vody. Jak mohou vypadat takové způsoby úpravy vody v teplárnách a elektrárnách, můžeme vidět na Obr. 2.9.



Obr. 2-9 - Schéma úpravy vody

2.6 Parní kotle

V kotlích dochází k velmi důležitému procesu, k výrobě vodní páry. Pracovní látkou kotlů je voda, která při průchodem kotle přijímá tepelnou energii od spalín, které jsou teplotnosnou látkou kotlů, a vypařuje se. Kotel je velmi sofistikované technické zařízení, které obsahuje mnoho prvků a je také největším zařízením v technologii teplotren. Kotle můžeme dělit podle různých kritérií, jako např. podle:

- použití kotle
 - elektrárenské
 - teplotrenské
 - pro výtopny
 - pro spalovny
- oběhu pracovní látky
 - s přirozenou cirkulací
 - průtočné
- provozního tlaku
 - nízkotlaké (do 2,5 MPa)
 - středotlaké (do 6,4 MPa)
 - vysokotlaké (do 22,15 MPa)
 - nadkritické (nad 22,15 MPa)
- způsobu spalování
 - roštové
 - práškové
 - fluidní
 - cyklónové

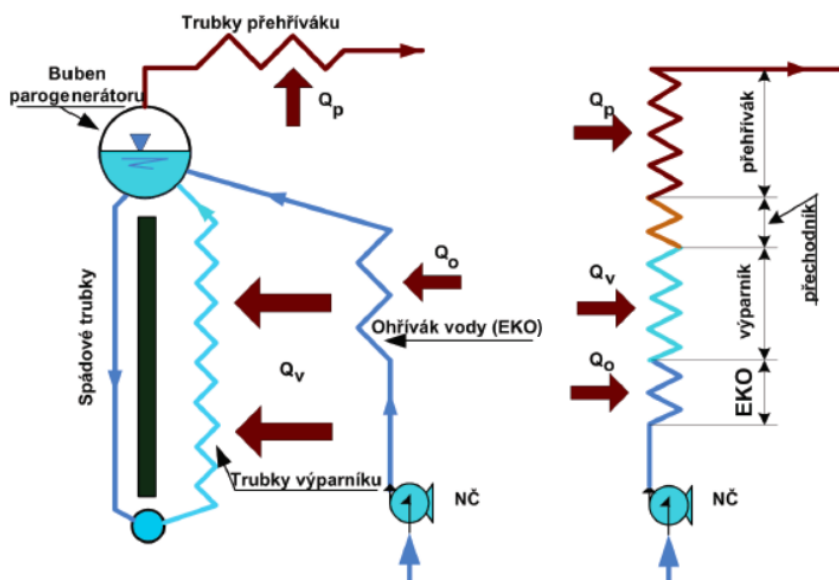
2.6.1 Bubnový kotel s přirozenou cirkulací

Tento kotel je založen na principu, že voda samovolně proudí oběhem na základě změny hustoty při odparu vody. Voda se nejprve přes ohřívák vody, kterému se říká ekonomizér, nažene do bubnu kotle. Odtud je voda spádovými trubkami vedena do zavodňovací komory, kde se rozděluje do trubek výparníku, neboli varnic. Zde voda již přijímá teplo od spalín a dochází k

postupnému vypařování. Čím výše ve varnicích se parovodní látka nachází, tím přibývá páry a zároveň suchost páry. S tímto souvisí zároveň zvyšování objemu a zmenšování hustoty doprovázeno stoupáním páry vzhůru. Rovněž dochází ke zvyšování tlaku páry a to má za následek snižování rozdílu hustot mezi vodou a párou, přičemž při kritickém tlaku tento rozdíl hustot úplně vymizí. Z toho plyne, že vlivem snižování rozdílu mezi hustotami se snižuje i rychlost oběhu. A tak při zvyšování tlaku vyrábění páry je zapotřebí zvyšovat i výšku spalovací komory, což má ale své technické a prostorové hranice. Až pára vystoupá do bubnu, dochází zde ke gravitační separaci páry a vody, přičemž z bubnu je pára vedena přes přehřívák do turbíny. Mezi výhody tohoto typu kotle patří bezpochyby jednoduchost a spolehlivost. Na druhou stranu mezi nevýhody řadíme pomalejší nájíždění kotle a zvětšuje se zde také potřeba materiálu vlivem bubnu. Velice důležité je, aby nedošlo k přerušení cirkulace vody, neboť právě přirozená cirkulace zajišťuje chlazení varnic. Funkční schéma bubnového kotle s přirozenou cirkulací je možno vidět níže na Obr.2.10 a).

2.6.2 Průtočný kotel

Počátek vývoje tohoto kotle se datuje do 20. let 20. století a jeho technologie se postupně zdokonalovala. Voda je hnána čerpadlem postupně přes ekonomizér, výparník a přehřívák do turbíny. K celému procesu je v podstatě potřeba soustava trubek, kde na jedné straně do nich vstupuje voda a na druhé vystupuje přehřátá pára. Vzhledem k tomu, že je voda kotlem poháněna čerpadlem, průtočné rychlosti jsou tak vyšší než u bubnových kotlů. Kotel tohoto typu je schopen vyrobit velmi vysoké hodnoty admisní páry, je ale zapotřebí aby napájecí voda byla dokonale čistá, demineralizována. U tohoto typu kotle není pevně dáno jako u bubnového, kde dochází k odpařování a přehřívání, neboť toto je závislé na výkonu kotle a teploty napájecí vody. Tento typ kotle je schopen nájíždět a být odstaven rychleji než kotel bubnový a jeho funkční schéma si můžeme prohlédnout na Obr. 2.10 b).

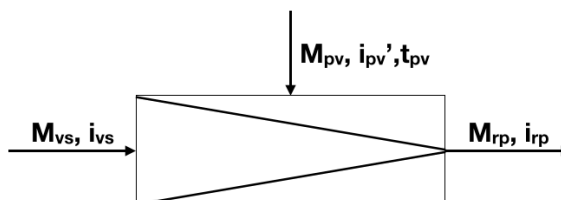


Obr. 2-10 - Funkční schéma kotle: a) bubnového, b) průtočného [3]

2.7 Redukční stanice

Jedná se o technologický prvek, který slouží jako náhradní zdroj páry o určitém tlaku a teplotě. Stanice tedy sníží tlak admisní páry a většinou bývá doplněn i zařízením pro zvlhčení.

Hlavním funkčním prvkem je redukční ventil, který je ovládán buď přímo, nebo servomotorem. Celá redukční stanice je ve většině případů automatizována. Redukční stanice se využívá při různých potřebách, nejčastěji při potřebě odstavit turbínu, či při její poruše. V praxi dochází ještě k následujícímu případu. Jak je popsáno výše, u protitlakových turbín je elektrický výkon přímo závislý na poptávce tepla. Proto se může někdy vyskytnout případ, že je třeba dodávat určité množství tepla, ale současně je třeba omezit generovaný elektrický výkon. V takovém případě se aktivuje redukční stanice, která ztlumí turbosoustrojí.



Obr. 2-11 - Redukční stanice

Přičemž M_{vs} je množství páry vstupující do redukční stanice, M_{pv} je množství přidané zvlazovací vody, M_{rp} je množství redukované páry (tuto hodnotu většinou známe), i_{vs} je entalpie páry vstupující do redukční stanice, i_{pv}' je entalpie přidané zvlazovací vody, i_{rp} je entalpie redukované páry a t_{pv} je teplota přidané zvlazovací vody.

3 PROVOZ ŠPÍTÁLKA

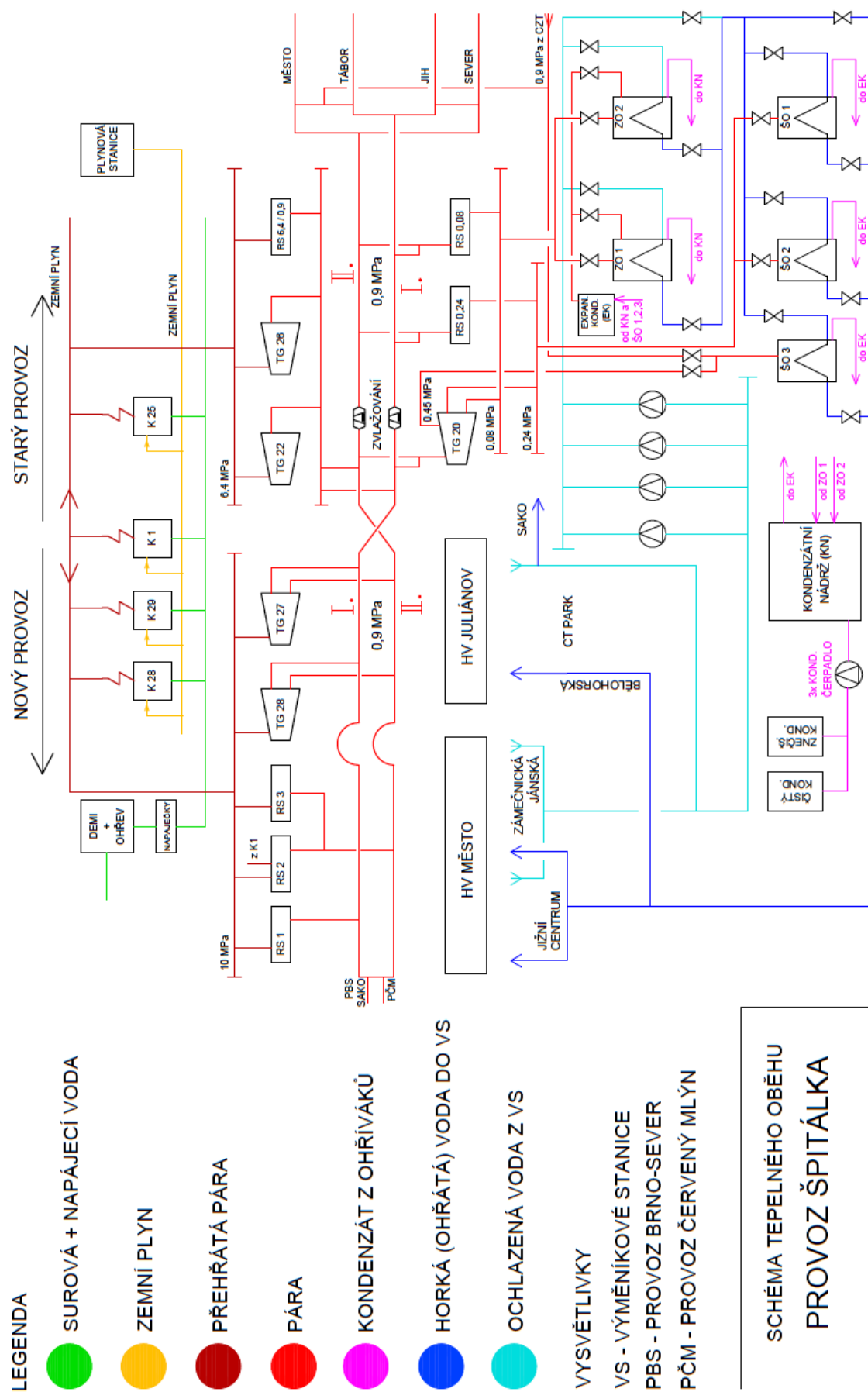
Provoz Špitálka je Brněnská teplárna, která spadá do vlastnictví společnosti Teplárny Brno, a.s. Tato společnost vyrábí teplo ještě v dalších třech zdrojích, a to v provozu Červený mlýn, Brno-Sever a Staré Brno, které jsou všechny zapojeny do soustavy centrálního zásobování teplem (SCZT). Společnost rovněž provozuje lokální provozy Bystřec a Kamenný Vrch. Do SCZT je připojeno ještě zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO) společnosti Spalovna a komunální odpady Brno, a.s. (SAKO, a.s.). Provoz na Špitálce byl uveden do provozu v roce 1930 a je nejstarší teplárenský zdroj v Brně. Technologie teplárny pracuje na principu kombinované výroby tepla a elektřiny. Průkopníkem, který se zasadil o prosazení projektu výstavby nové teplárny pracující na způsobu KVET s dodáváním páry do potrubí a její distribucí ke spotřebiteli, byl tehdejší profesor na elektrotechnické fakultě Vysokého učení technického v Brně, Ing. Vladimír List. Inspirovat se nechal v roce 1923 při návštěvě New Yorku, kde fungoval systém rozvodu tepla, zvaný district heating respektive CZT. Začátkem 20. století byla v Brně velmi vysoká spotřeba páry hlavně kvůli textilnímu průmyslu. Když se Prof. List vrátil z USA, tak byl velmi překvapen, jak velké množství páry spotřebují brněnské textilní továrny. „Byl jsem překvapen, že na tehdejším Cejlu, Radlasu a Dornychu je spotřeba páry na kilometr čtvereční větší než v New Yorku,“ vypočítal List. Díky nově postavené teplárně zmizelo z továren přes 68 komínů, čímž se značně pročistilo brněnské ovzduší. A tak se započala dlouhá historie brněnského teplárenství.



Obr. 3-1 - Letecký pohled na teplárnu Špitálka [11]

3.1 Popis technologického okruhu PŠ

Instalovaný tepelný výkon provozu je 411 MW_t a instalovaný elektrický výkon je $80,6 \text{ MW}_e$. Provoz na Špitálce je rozdělen do dvou částí, tzv. Starý a Nový provoz, přičemž ve Starém provozu pracuje kotel K25, který dodává přehřátou páru o tlaku $6,4 \text{ MPa}$, a v Novém provozu pracují kotle K28 a K29, které vyrábějí přehřátou páru o tlaku 10 MPa . Déle je na Špitálce kotel K1, který dokáže vyrábět páru jak $6,4 \text{ MPa}$, tak 10 MPa , a tím pádem může pracovat jak do Starého, tak Nového provozu. Teplárna pracuje na principu Rankin-Clausiova tepelného oběhu, přičemž pára může expandovat na čtyřech protitlakých turbínách a jedné protitlaké turbíně s dvěma odběry. Teplo je ke spotřebiteli dodáváno buď ve formě páry anebo horké vody. Nyní si popíšeme celý proces od úplného počátku až ke spotřebiteli. Tepelné schéma oběhu je možno vidět na Obr. 3.2 níže následováno popisem oběhu.

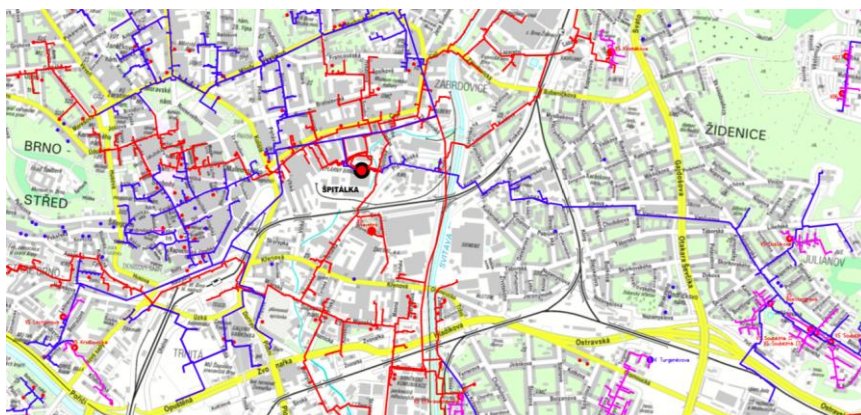


Teplárna je zásobována surovou vodou z náhonu z řeky Svitavy a je upravována v části technologie, které říkáme DEMI (detailní popis v následující podkapitole). Po velmi náročném procesu úpravy vody dochází ke zvýšení její teploty v ohřívacích systémech a za pomoci napáječek je voda, které se říká napájecí voda, dodávána do kotlů. Napájecí voda má teplotu 170-175 °C a tlak 0,9 MPa. Všechny kotle, které na Špitálce fungují, jsou kotle bubnové, přičemž jako palivo se používá zemní plyn, který je do hořáků kotlů přiváděn z plynové stanice ve žlutě zbarvených potrubích. V kotlích dochází k výrobě páry, která ještě před výstupem z kotle prochází přehřívákem páry, jenž má za úkol zvýšit teplotu vystupující páry z kotle. Parametry páry vystupující z kotlů závisí na tom, které kotle právě pracují. Kotle v Novém provozu, tedy K28, K29 a k nim i dovuparametrový kotel K1 vyrábějí páru do společného parovodu o parametrech 10 MPa a 510 °C. Parametry páry na společném parovodu ve Starém provozu jsou 6,4 MPa a 415 °C, přičemž do tohoto provozu pracuje kotel K25 a může i dvouparametrový kotel K1. Posléze pára expanduje v protitlakých turbínách na tlak 0,9 MPa. Pro různé případy, které byly popsány v teoretické kapitole výše, jsou zde umístěny čtyři redukční stanice (RS). RS1 a RS2, každá o výkonu 143 t/h, dále nová RS3 s malým výkonem 45 t/h, která byla zhotovena z důvodu praskání starých redukčních stanic, a také RS6,4/0,9 o výkonu 80 t/h. RS3 slouží výhradně pro snadnější regulaci. RS1, RS2 a RS3 jsou v případě potřeby schopny bez problému převzít plný výkon. Parovody s tlakem 0,9 MPa jsou v teplárně dva a po jejich vyvedení z teplárny slouží k distribuci tepla ve formě páry. Z důvodu ochlazení páry v těchto parovodech je v teplárně instalováno zvlažování, které funguje na bázi vstřikování kapiček vody do parovodů. Kapičky vody se posléze odpaří a odeberou tepelnou energii páře, čímž způsobí její ochlazení. Maximální teplota páry v parovodech je přibližně 215 °C, ale reálně se parovody provozují kolem teploty 195 až 200 °C. Teplo prostřednictvím této páry již může být dodáváno parovody ke spotřebitelům, tj. do výměníkůvých stanic u spotřebitele. Parovody jsou dělány tak, že jeden tubus vede páru do výměňkové stanice, kde pára odevzdá svoji tepelnou energii do spotřebitelského okruhu a zkondenzuje, a druhý tubus vede kondenzát zpátky do teplárny.

Jak bylo již zmíněno výše, provoz na Špitálce dodává teplo prostřednictvím páry, ale také prostřednictvím horké vody. Horká voda se produkuje následujícím způsobem. Na parovody 0,9 MPa je připojen turbogenerátor TG 20, který je menší a produkuje tři výstupy páry, a to o tlacích 0,45 MPa, 0,24 MPa a 0,08 MPa. V případě potřeby jsou zde umístěny redukční stanice RS 0,24 a RS 0,08, které mohou pracovat namísto TG. Tyto páry se používají k předání tepelné energie vodě, která cirkuluje mezi výměňkovými stanicemi a výměníky v teplárně. Tato „výměna“ tepla probíhá v tzv. základních ohřívacích (ZO) a špičkových ohřívacích (ŠO), což jsou v podstatě klasické výměníky tepla umístěny v teplárně. O to, že je voda dovedena do těchto výměníků, se starají čtyři oběhová čerpadla. Pokud je topná sezóna, tak se základní ohříváky používají vždy. Oproti tomu špičkové ohříváky se používají podle potřeby. Do základních ohříváků ZO1 a ZO2 je vyvedena pára o tlaku 0,09 MPa, která zde odevzdává teplo vodě. Tato ohřátá voda může dále pokračovat ke spotřebiteli, anebo se znovu přihrát ve špičkových ohřívacích. Ve špičkových ohřívacích ŠO1 a ŠO2 se o zvyšování teploty vody stará vývod páry o tlaku 0,24 MPa. Do ŠO3 je zavedena pára o tlacích jak 0,45 MPa, tak 0,9 MPa. Z výše uvedeného je patrné, že jak pára odevzdává svoji tepelnou energii vodě, tak kondenzuje. Takto zkondenzovaná voda z ZO je posléze vedena do kondenzátní nádrže a odtud do expandéru kondenzátu. Zkondenzovaná voda ze ŠO je vedena rovnou do expandéru kondenzátu. Ten umožňuje znovuzískání a následné využití zbytkové páry. Takto získaná zbytková pára je posléze vedena zpět na ZO1 a ZO2 a odtud zase do kondenzátní nádrže a celý proces se opakuje. Výběr toho, do jaké míry budou špičkové ohříváky vodu oteplovat, se dá regulovat podle potřeby. Poté, co je voda ohřátá, za všemi

ohříváky, putuje horkovodem ke spotřebitelům do výměníkůvých stanic. Tam odevzdá teplo do spotřebitelského okruhu, ochladí se a je oběhovými čerpadly znovu hnána do teplárny, kde se celý proces opakuje.

Jak již bylo zmíněno, tím, že jsou všechny brněnské teplárny součástí SCZT, tak jsou mezi sebou propojeny. Provoz Špitálka hraje roli přirozeného provozního a řídicího centra SCZT v Brně a zásobuje teplem centrum města a sídliště Juliánov. V letním období, když jsou zdroje provozu Špitálka odstaveny, se používá pro potřebu ohřevu horké vody ve výměníkové stanici pára ze SCZT, konkrétně ze spalovny SAKO a z provozu Brno-Sever. V dnešní době probíhá v rámci Teplárny Brno, a.s. velký projekt zaměřený na výměnu parovodů za horkovody. Tato změna má zákazníkům přinést mnoho výhod, jako například finanční úspory (menší tepelné ztráty) nebo menší dopad na životní prostředí (1 km vyměněného potrubí odpovídá snížení emisí CO₂ přibližně o 336 tun za rok). V dnešní době je k SCZT připojeno asi 96 tisíc lidí, z toho cca 72 % prostřednictvím horkovodů.



Obr. 3-3 - SCZT v blízkosti PŠ (m – horkovody, č – parovody, f – teplovody) [11]

3.2 Parametry kotlů a turbogenerátorů

Jak bylo již výše zmíněno, na Špitálce je pára vyráběna pomocí čtyř kotlů, přičemž dva kotle (K28, K29) vyrábějí páru do tlakového systému 10 MPa, jeden (K25) do tlakového systému 6,4 MPa a jeden kotel (K1) umí vyrábět páru do obou tlakových systémů. Parametry kotlů je možno vidět v Tabulce 3.

Kotel	Výstupní tlak	Výstupní teplota	Tepelný výkon		Minimální výkon
	[MPa]	[°C]	[MW _t]	[t/h]	[t/h]
K 1	10	510	198	250	80
	6,4	415	126	170	
K 25	6,4	410	55	90	60-65
K 28	10	510	79	100	60-65
K 29	10	510	79	90	60-65

Tabulka 3 - Parametry kotlů

Kotel K25, který je součástí tzv. starého provozu, je parní, vysokotlaký, tříbubnový, strmotrubnatý kotel, který má 5 hořáků typu VPH 2-P, které byly rekonstruovány z uhlého na plynové palivo a jsou nadimenzovány na dosažení plného výkonu kotle. Tento kotel byl uveden do provozu v roce 1930 a je tak nejstarším fungujícím kotlem v teplárně na Špitálce. V dnešní době je už využíván velmi zřídka. Spaliny z tohoto kotle ústí do komínu č. 001.

Kotel K1 je nejnovější a nejmodernější kotel v teplárně. Do provozu byl uveden v roce 1995 a je ze všech kotlů nejvíce využíván. Jedná se o parní, vysokotlaký, samonosný, dvoutahový, přetlakový kotel s šesti hořáky typu PEABODY, které jsou zkonstruovány pro dva parametry páry. Spaliny z kotle jsou odváděny do komínu č. 002.

Kotel K29 je parní, vysokotlaký strmotrubnatý kotel se šesti hořáky typu VPH 2-P. Hořáky byly původně rovněž jako u K25 navrženy na uhlé palivo, ale byly zrekonstruovány tak, aby byly schopny dosahovat maximální účinnosti při spalování zemního plynu. Kotel byl zprovozněn v roce 1955 a jeho spaliny vedou do komínu č. 002.

Kotel K28 je parní, vysokotlaký, strmotrubnatý kotel, který má sálavou spalovací komoru a 6 hořáků typu VPH 2-P. Hořáky jsou rovněž jako kotle K25 a K29 zrekonstruovány na palivo ve formě zemního plynu. Tento kotel byl uveden do provozu v roce 1954 a jeho spaliny jsou vedeny do komínu č. 002.

Turbogenerátorů je na Špitálce pět, přičemž TG28, TG 27, TG 22 a TG 26 dodávají páru do parovodů, které jsou vyvedeny do SCZT, kdežto TG 20 dodává páru do ohříváků (výměníků), kde předává svoji energii vodě. Ta pak ve formě horké vody putuje do SCZT a ke spotřebitelům. Parametry jednotlivých turbogenerátorů jsou vyobrazeny v Tabulce 4.

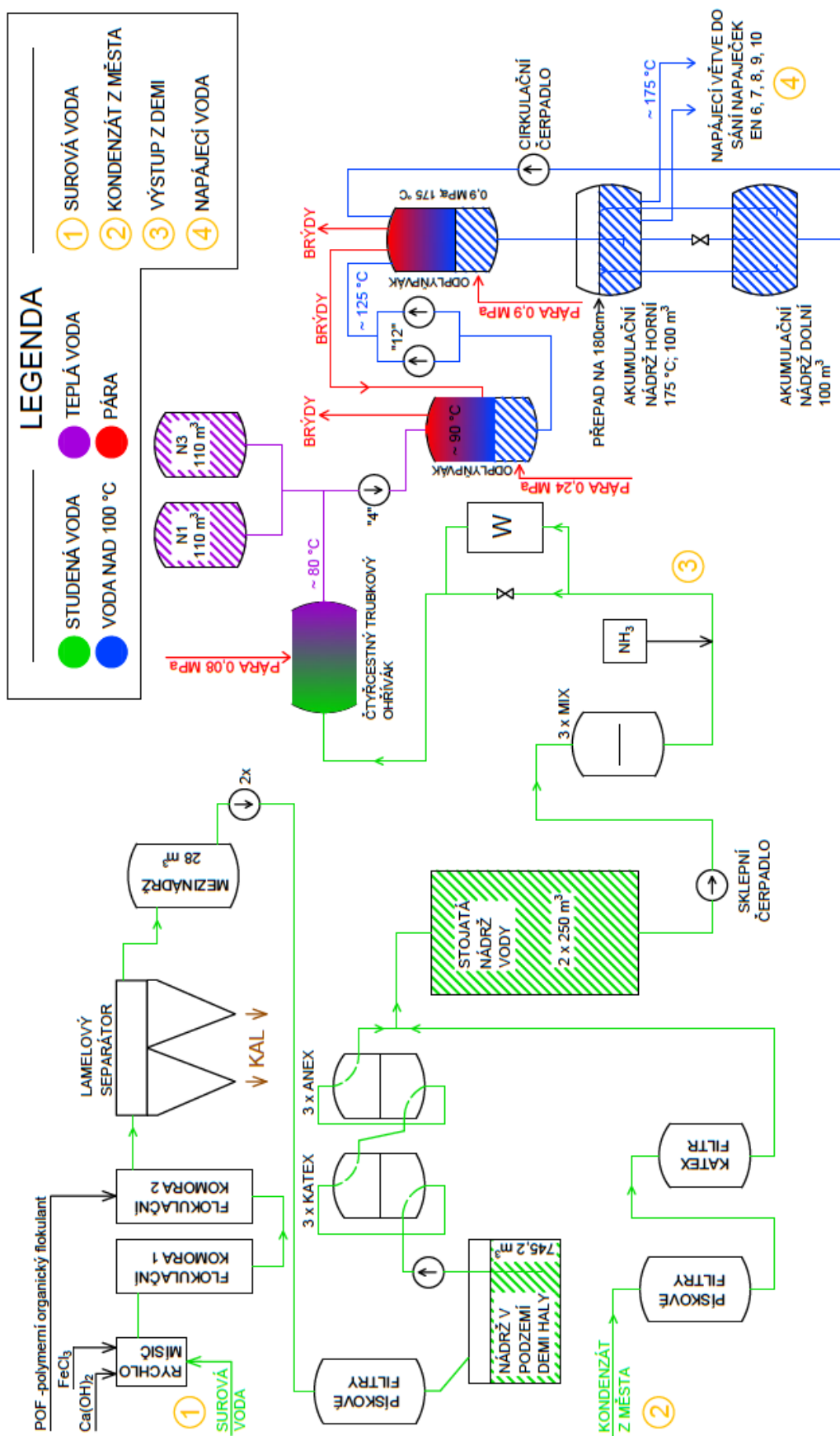
Turbo soustrojí	Elektrický výkon	Typ turbíny	Parametry vstupní páry	Hltnost	Protitlak (odběry/protitlak)
	[MW _e]		p [MPa] / t [°C]		[MPa]
TG 20	5	Protitlaká	0,9 / 220	60	0,45/0,24/0,08
TG 22	6,4	Protitlaká	6,4 / 415	60	0,9
TG 26	10	Protitlaká	6,4 / 415	110	0,9
TG 27	30	Protitlaká	10 / 510	220	0,9
TG 28	30	Protitlaká	10 / 510	220	0,9

Tabulka 4 - Parametry turbogenerátorů

3.3 Úprava vody

Ještě než začneme popisovat celý proces úpravy vody, je dobré upozornit, že schéma je možné sledovat na Obr. 3.4 níže. Teplárna Špitálka bere vodu z náhonu z řeky Svitavy. Tato surová voda se vede spodem do rychlomísiče a pomocí míchadla se promísí s FeCl_3 a Ca(OH)_2 , tj. nasýtí se koagulanty. Do potrubí se přidává kal a voda dále pokračuje přes sběrný žlab do první flokulační komory. V první flokulační komoře se voda promíchá s kalem a čířidly, probíhá flokulační proces. V druhé flokulační komoře se voda mísí s organickým polymerním flokulantem a za pomoci míchadla probíhá koagulační proces. Tím, že jsme do vody přimísili dané látky, vznikají malé vločky, které jsou na sebe schopny navázat nečistoty. Koagulační proces je to, že tyto vločky na sebe navážou nečistoty a dochází ke vzniku řetízků. Voda pokračuje přes sběrný žlab do lamelového separátoru a stéká dolů do jehlanů, kde se usazuje kal, a čistá voda pomalu stoupá přes lamely nahoru do žlabu. Poté teče ze žlabu do mezinádrže. Kal, který se usazuje na spodku jehlanů v lamelovém separátoru, se znovu částečně využívá za pomoci vřetenových čerpadel a přidává se do potrubí před první flokulační komorou. Vyčištěná voda zde opouští proces číření a za pomoci dvou čerpadel je vedena do pískových filtrů. Pískové filtry jsou zde tři a jeden dvojitý. Jedná se tedy v podstatě o pět filtrů se stejným výkonem. Voda do filtrů vstupuje vrchem a postupně prochází přes tři vrstvy písku. Jedná se o vrstvy s různou zrnitostí písku, přičemž voda prochází skrze vrstvy v následujícím pořadí: zrnitost písku 1 mm, 3 mm a 10 mm. Pískové filtry se používají k filtraci zbytku suspendovaných látek, které se neusadili v separátoru. Z pískových filtrů teče voda do nádrže pod podlahu DEMI haly. Odtud je vyčištěná voda pomocí čtyř čerpadel hnána do katex filtrů, následovány anex filtry. Po projití anexy se voda spojuje s vráceným kondenzátem z města a žene se do dvou stojatých nádrží. Kondenzát z města, tzv. dálkový kondenzát, se musí rovněž přeupravit, a to tak, že projde přes pískové filtry a čtyři katex filtry. Ty jsou zde k odstranění tvrdosti a NH_3 z kondenzátu. Ze stojatých nádrží se voda za pomoci sklepního čerpadla vede do třech směsných filtrů MIX. Ty slouží jako pojistné filtry proti úniku tvrdosti a ke snížení obsahu SiO_2 v demivodě. Jedná se o ionexové filtry se směsným ložem, přičemž je zde smíchaná dohromady náplň silně kyselého katexu a silně bazického anexu. Regenerace (vyčištění) se provádí způsobem, že se nejprve propláchnutím oddělí těžší katex od lehčího anexu. Nejprve se regeneruje anex za přidání roztoku NaOH přičemž je katex krytý vodou, a posléze se pod katex přidává HCl , přičemž je anex krytý vodou. Uprostřed, na rozhraní hmot, se nachází rošt, kterým odcházejí odpady z regenerace do kanálu. Po vymytí jsou hmoty promíchány tlakovým vzduchem. Těmito prvky, směsnými filtry MIX, končí část demineralizace vody. Těsně za směsnými filtry se do vody ještě přidává roztok čpavku, a to v takovém množství, aby byla splněna podmínka pH požadovaného pro napájecí vody. Přidání čpavku se tedy provádí z důvodu alkalizace napájecí vody a ochrany parních rozvodů.

Nyní voda putuje do ohřívacích systémů. Nejprve prochází přes ohřívání spaliny u komína až do čtyřcestného trubkového ohříváku. Tam je ohřívána párou 0,08 MPa a na výstupu má cca 80 °C. Poté se voda dostává do zásobních nádrží, a zároveň pomocí čerpadel „4“ do napájecí nádrže, kde se předeřhřívá za pomoci páry 0,24 MPa na cca 90 °C. Odtud je voda hnána čerpadly „12“ do odplynováku a do horní a dolní akumulární nádrže, přičemž z odplynováku se vrchem vypouští brýdy. Cirkulační čerpadla poté honí vodu pořád dokola, aby se pořád ohřívala. Je důležité, aby byla hladina v horní nádrži stále nad přepadem, aby nedošlo k nasátí páry do napáječek. V této závěrečné fázi úpravy vody se nachází čtyři páry těchto nádrží, tzn. čtyři horní i dolní nádrže. Z horní akumulární nádrže poté jdou dvě paralelní větve k napáječkám.



Obr. 3-4 - Schéma úpravy vody

4 ZDROJE ODPADNÍHO TEPLA A JEJICH POTENCIÁL

Pokud se budeme bavit o zdrojích odpadního tepla, vyhledali jsme na provozu Špitálka dva potencionální zdroje, které by šly využít. Postupem času jsme ovšem přišli na fakt, že k efektivnímu využití nám bude vyhovovat pouze jeden z těchto zdrojů. Prvním, a tedy pro nás mnohem zajímavějším zdrojem bude ve formě teplé vody, která cirkuluje v uzavřeném chladicím okruhu UCHO. Popis tohoto zdroje bude detailně vysvětlen v následující podkapitole, neboť tímto zdrojem odpadního tepla se budeme dále zabývat. Druhým zdrojem odpadního tepla, který ovšem nebudeme využívat, ale jako doplněk ho zde uvedeme, jsou teplé proudy vzduchu, které jsou vyfukovány z frekvenčních měničů čerpadel.

4.1 Uzavřený chladicí okruh (UCHO)

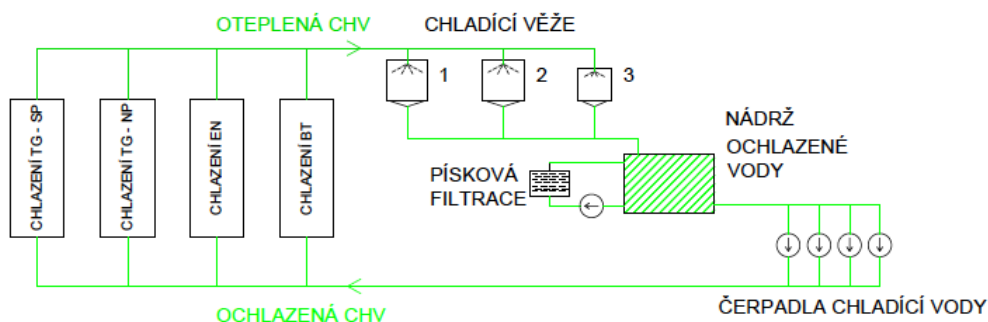
Uzavřený chladicí okruh slouží v teplárně Špitálka, jak už z názvu vyplývá, pro chlazení důležitých technologických zařízení teplárny. V uzavřeném chladicím okruhu putuje studená voda (cca 15 až 20 °C), která prochází jednotlivými zařízeními a přispívá k jejich chlazení. Po průchodu těmito zařízeními je voda ohřátá, neboť přijme tepelnou energii z jednotlivých zařízení. Tato ohřátá voda (teplota závisí na výkonu) dále putuje přes separační nádrž, kvůli případnému oddělení nečistot (např. oleje), do chladicích věží. Chladicí věže jsou celkem tři, dvě pro zimní provoz a jedna pro letní provoz. Dochází v nich k ochlazení chladicí vody, která posléze putuje do nádrže ochlazené vody. Dále dochází k cirkulaci vody přes pískový filtr a poté již ochlazená voda putuje opět k jednotlivým zařízením za účelem jejich ochlazení. Proces se opakuje stále dokola. Můžeme také tvrdit, že se jedná o ventilátorový chladicí okruh s nuceným oběhem.

V podstatě můžeme říci, že do UCHO jsou zapojeny veškerá zařízení, která „hřejí“, a to jsou následující:

- blokové transformátory - T 22, T 26, T 27, T 28, TR1, TR 2
- elektronapajčky
 - EN 6, EN 7, EN 10 (motory + čerpadla)
 - EN 8, EN 9 (čerpadla)
- turbogenerátory nový provoz – TG 28, TG 28 olej, TG 27, TG 27 olej
- turbogenerátory starý provoz – TG 26, TG 26 olej, TG 22, TG 22 olej
- turbogenerátor TG20, TG 20 olej

Všeobecně se u turbogenerátorů jedná jednak o chlazení vinutí, ale také o chlazení olejových zařízení celého soustrojí (ložiska).

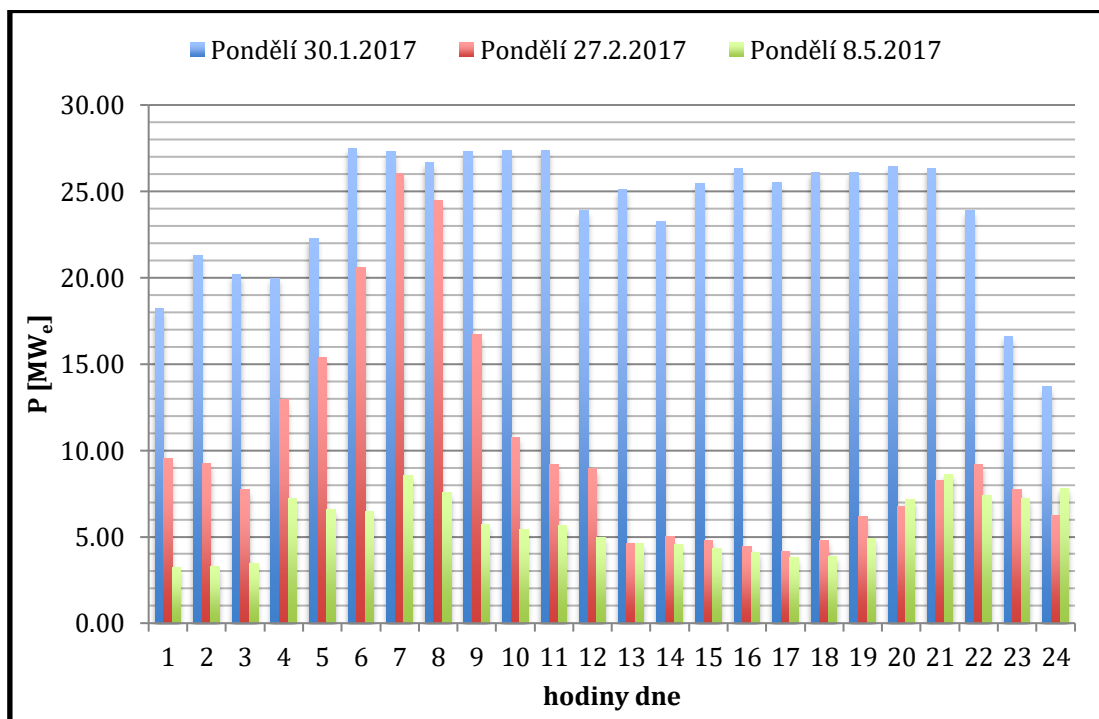
Schéma UCHO je možné vidět na Obr. 4.1 níže.



Obr. 4-1 - Schéma uzavřeného chladicího okruhu

4.2 Odhad (výpočet) tepelného potenciálu

Rozhodli jsme se vypočítat získané teplo z UCHO ve tři zvolená období. Tato období byla volena podle venkovních teplot tak, abychom postihli teplárnu ve velkém zatížení, ve středním, ale také v minimálním. Pro maximální potřebu dodávky tepla (teplárna vyrábí velké množství tepla) jsme vybrali týden od 30.1.2017 do 5.2.2017, pro středně velkou potřebu tepla jsme vybrali týden od 27.2.2017 do 5.3.2017 a pro minimální jsme vybrali od 8.5.2017 do 14.5.2017. Jakožto měřítko k určování zatížení teplárny (jak moc bylo potřeba dodávat teplo zákazníkům) jsme vybrali průměrný výkon za danou hodinu. Nutno dodat, že se jedná o saldo výkonů z předávacího místa. V těchto hodnotách je tedy sloučená výroba se spotřebou, a tak se nedá zjistit způsob provozu na Špitálce jede totiž vždy jeden velký TG přímo do sítě a malý TG20 do vlastní spotřeby, takže ze salda nelze zjistit výkon TG20 ani velikost vlastní spotřeby. Resp. jestli přes síťové trafo dodává do sítě nebo odebírá. Nicméně jako měřítko jsou pro naše účely tyto hodnoty dostačující. Abychom si udělali představu o tom, jak se v různých měsících a dnech v topné sezóně mění průměrný elektrický výkon resp. dodávka tepla, vynesli jsme hodnoty do následujících grafů: Graf č.1



Graf 1 - Průměrný hodinový výkon teplárny v průběhu dne

Na Grafu 1 můžeme vidět, jak se mění během denních hodin výroba tepla resp. výkon teplárny. V grafu jsou uvedeny pondělky ze třech různých měsíců, přičemž ale můžeme pozorovat, že nejvíce tepla se vyrábí kolem šesté, sedmé hodiny ráno, a potom v pozdně odpoledních až večerních hodinách. Tzv. ranní špička je dána jednoduše tím, že lidé vstávají do práce či do škol. Je dobré uvést rovněž teploty v daných dnech (všechny teploty jsou měřeny z meteorologické stanice Brno-Židenice): 30.1. dosahovala průměrná denní teplota $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 27.2. byla průměrná denní teplota $+4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 8.5. to bylo $+13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je tedy zřejmé, že výroba tepla je úměrná venkovní teplotě. Můžeme si rovněž všimnout, že v pondělí 27.2.2017 v šest hodin ráno je výkon teplárny vysoký. V tuto hodinu bylo totiž naměřeno $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a poté se již v průběhu dne oteplovalo.

Nás ovšem zajímá především to, jak v tuto dobu probíhal chladicí proces hlavních technologických zařízení, respektive jaké odpadní teplo bychom mohli získat. Jelikož známe oteplenou chladicí vodu, ochlazenou chladicí vodu, ale i průtok chladicími věžemi, není pro nás složité vypočítat odpadní teplo. Budeme postupovat podle následujících vzorců. Odpadní teplo bude:

$$Q = M \cdot (i_1' - i_2') \quad (\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (4.1)$$

kde

M množství teplonosné látky (hmotnostní průtok Q_v) $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$

i_1' je entalpie oteplené vody (na vstupu do věže) $(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$

i_2' je entalpie ochlazené vody (na výstupu z věže) $(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$

Budeme-li chtít tepelný výkon vyjádřit v MW_t , musíme výsledek ještě vydělit 3600. Existuje ještě jeden způsob, kterým bychom mohli docílit výsledku, a to následující: Známe hmotnostní průtok a víme, že je zadán v m^3/h . Můžeme tedy spočítat, jaké množství vody prošlo za hodinu.

$$Q_v = \frac{V}{t} = \frac{m}{\rho \cdot t} \rightarrow m = Q_v \cdot \rho \cdot t \quad (\text{kg}) \quad (4.2)$$

kde

Q_v je hmotnostní průtok $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$

ρ hustota vody $(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$

t je čas (s)

Nyní víme, že za jednu hodinu prošla věžemi určitá hmotnost. Tepelnou energii vypočítáme jako:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{kJ}) \quad (4.3)$$

kde

c je měrná tepelná kapacita vody $(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$

ΔT je rozdíl termod. teplot na vstupu a výstupu (K)

Pokud chceme výsledek v MW_t , musíme opět podělit 3600. Nyní vypočteme, kolik odpadního tepla získáme v případech, které se vyskytují v Grafu 1. Provedeme nejprve příklad výpočtu pro hodnotu z času 00:00 dne 30.1. 2017, a poté již budeme hodnoty počítat pomocí softwaru Microsoft Excel. Hodnoty, které máme z měření na UCHO, jsou v Tabulce 5.

30.1.2017	$t_{\text{otep}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{chlad}} [^{\circ}\text{C}]$	$Q [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
	41,898	17,419	73,889

Tabulka 5 - Hodnoty z UCHO

Příklad výpočtu

Jelikož víme, že voda má hustotu $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, tak můžeme tvrdit, že průtok je $73889 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Poté nám stačí z tabulky syté kapaliny a syté páry H_2O odečíst hodnoty entalpie pro dané teploty vody. Přičemž entalpie pro oteplenou vodu i_1' je $175,473 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a pro ochlazenou vodu i_2' je $73,115 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nyní můžeme vypočítat energii.

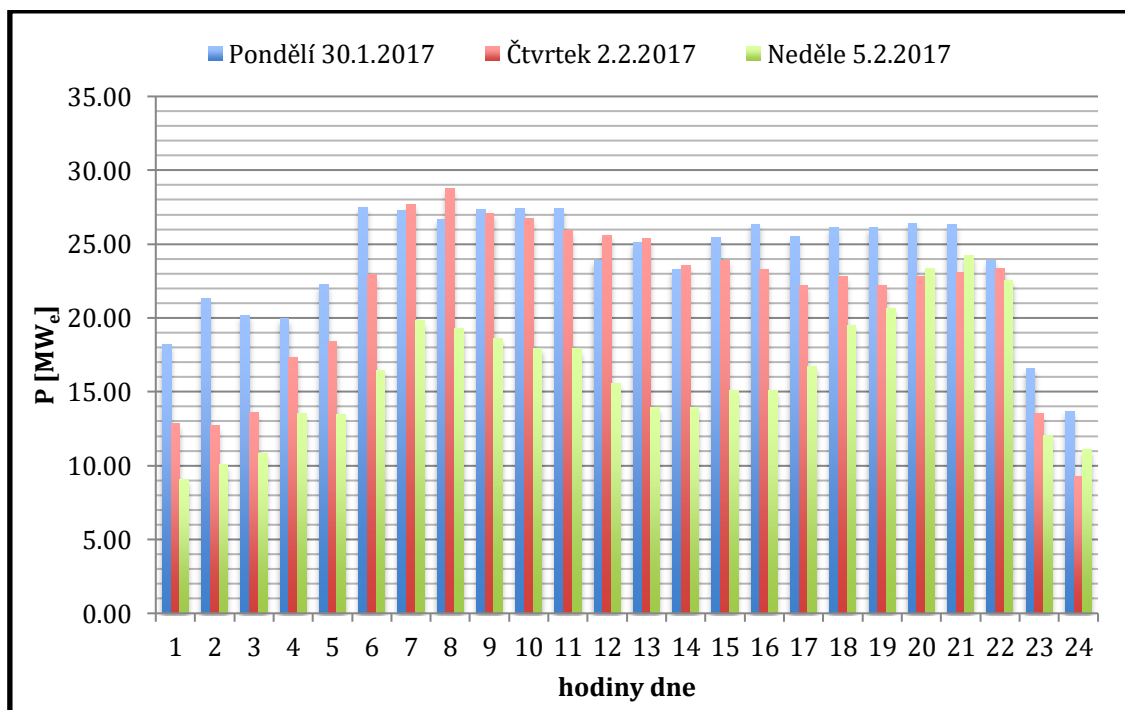
$$Q_{kJ/h} = M \cdot (i_1' - i_2') = 73889 \cdot (175,473 - 73,115) = 7563,110 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{h}^{-1} \\ = \underline{7,563 \text{ GJ} \cdot \text{h}^{-1}}$$

$$Q_{MWt} = \frac{Q_{kJ/h}}{3600} = \frac{7563,11 \cdot 10^3}{3600} = 2100,86 \text{ kW}_t = \underline{2,1 \text{ MW}_t}$$

Nyní si pojďme říct, jaké odpadní teplo dostaneme za celé pondělky z Grafu 1. Při výpočtu jsme spočítali odpadní teplo v každé hodině, a tyto hodnoty následně sečetly, abychom dostali odpadní teplo za jeden den. Výsledné hodnoty odpadního tepla za jeden den jsou v Tabulce 6.

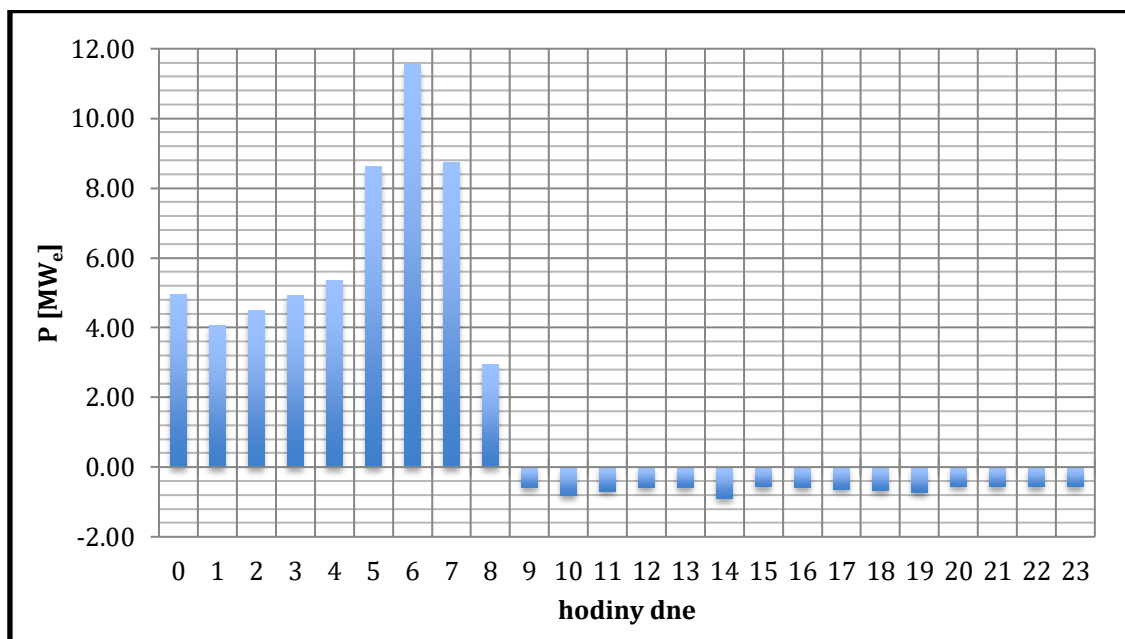
Den	30.1.2017	27.2.2017	8.5.2017
Q [MW _t]	49,85	38,58	22,19

Tabulka 6 - Vypočítané hodnoty odp. tepla pro tři různé pondělky

4.3 Grafy zobrazující rozdíly ve výrobě tepla v různých závislostech

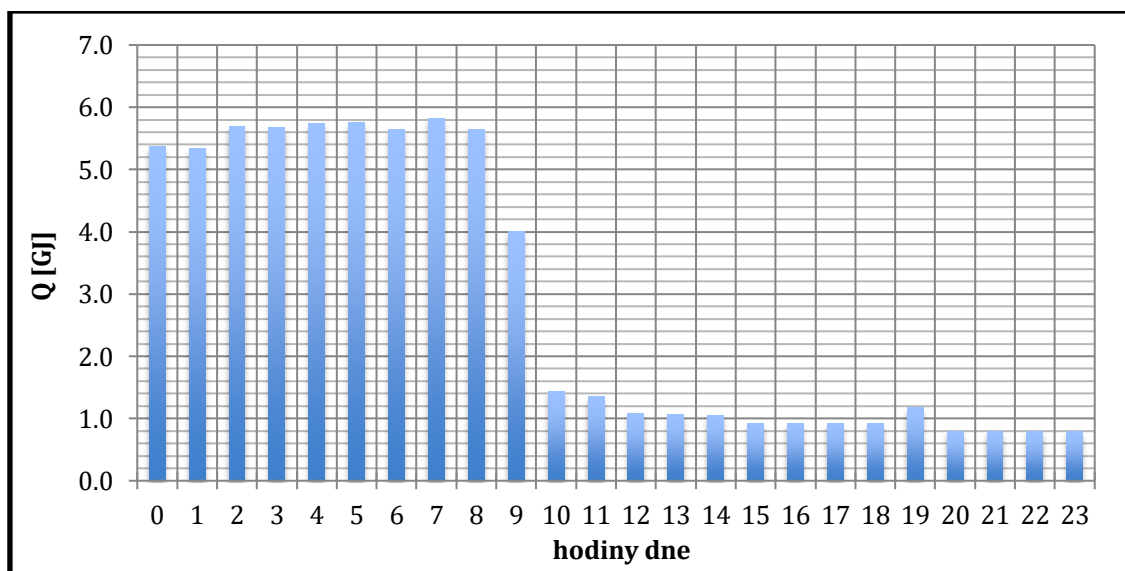
Graf 2 - Porovnání výroby tepla, všední den x víkend

V Grafu 2 můžeme vidět, jak o víkendu klesá výkon resp. výroba tepla. Vše samozřejmě závisí na venkovní teplotě, ta však byla ve vybraných dnech velmi podobná, a tak je graf docela dobře vypovídající.



Graf 3 - Výkon teplárny ze soboty 4.3. 2017

Na Grafu 3 můžeme vidět, jak probíhala výroba tepla v sobotu 4.3.2017. Je zde vidět, že nejvyšší dodávka byla klasicky kolem šesté hodiny ranní. Poté ovšem výkon spadl dolů a kolem deváté hodiny dopolední se dostal do záporných hodnot, kde setrval až do konce dne. Jednalo se o odstávku provozu neboť teploty v tento den se pohybovaly: ráno v 7:00 bylo 6,2 °C, ve 14:00 vylo 18,2 °C a v 21:00 bylo 11,4 °C. Provoz byl tedy odstaven. Stojí také TG 20, který pracuje do vlastní spotřeby a z grafu lze tedy vidět, že na předávacím místě je el. energie dodávána ze sítě.



Graf 4 - Odpadní teplo ze soboty 4.3.2017

Ke Grafu 3 jsme přidali ještě Graf 4, který ukazuje, jaké odpadní teplo v danou hodinu získáme. Můžeme vidět, že se odpadní teplo v prvních osmi hodinách dne moc nemění. Je tedy vidět, že se změnou vyrobeného tepla, resp. el. výkonem, se odpadní teplo zas tak nemění. Samozřejmě v případě odstávky značně klesne i odpadní teplo. Ovšem je dobré si všimnout, že ačkoliv by byl provoz v odstávce, tak by se stále nějaké malé odpadní teplo produkovalo. To je způsobeno faktem, že se stále musí některé komponenty teplárny chladit.

4.4 Přehled – odpadní teplo

Následující hodnoty jsou spočteny z týdnů s vysokou, střední a nízkou výrobou tepla.

Průměrné odpadní teplo získané za jednu hodinu - v týdnu s velkou výrobou tepla

- 7,42 GJ

Průměrné odpadní teplo získané za jednu hodinu - v týdnu se střední výrobou tepla

- 4,69 GJ

Průměrné odpadní teplo získané za jednu hodinu - v týdnu s nízkou výrobou tepla

- 2,83 GJ

4.5 Odpadní teplo v průběhu roku

V předcházejících podkapitolách jsme při výpočtech odpadního tepla vycházeli ze tří týdnů v topné sezóně. Každý týden byl na základě venkovních teplot vytipován tak, abychom měli spočítané odpadní teplo pro stavy, kdy teplárna vyrábí hodně, středně a málo tepla. Po těchto výpočtech, které sloužily převážně k odhadu potenciálu odpadního tepla, jsme došli k závěru, že UCHO odvádí do okolí poměrně velké množství odpadního tepla, které je možné velice dobře využít.

Nyní se budeme zabývat množstvím odpadního tepla v průběhu celého roku a výsledky porovnáme s aktuální spotřebou tepla pro vytápění a ohřev TUV na provozu Špitálka. Grafické vyhodnocení zřetelně znázorní, zda odpadní teplo generované v UCHO zcela pokrývá spotřebu teplárny, či zda ji pokrývá jen z části.

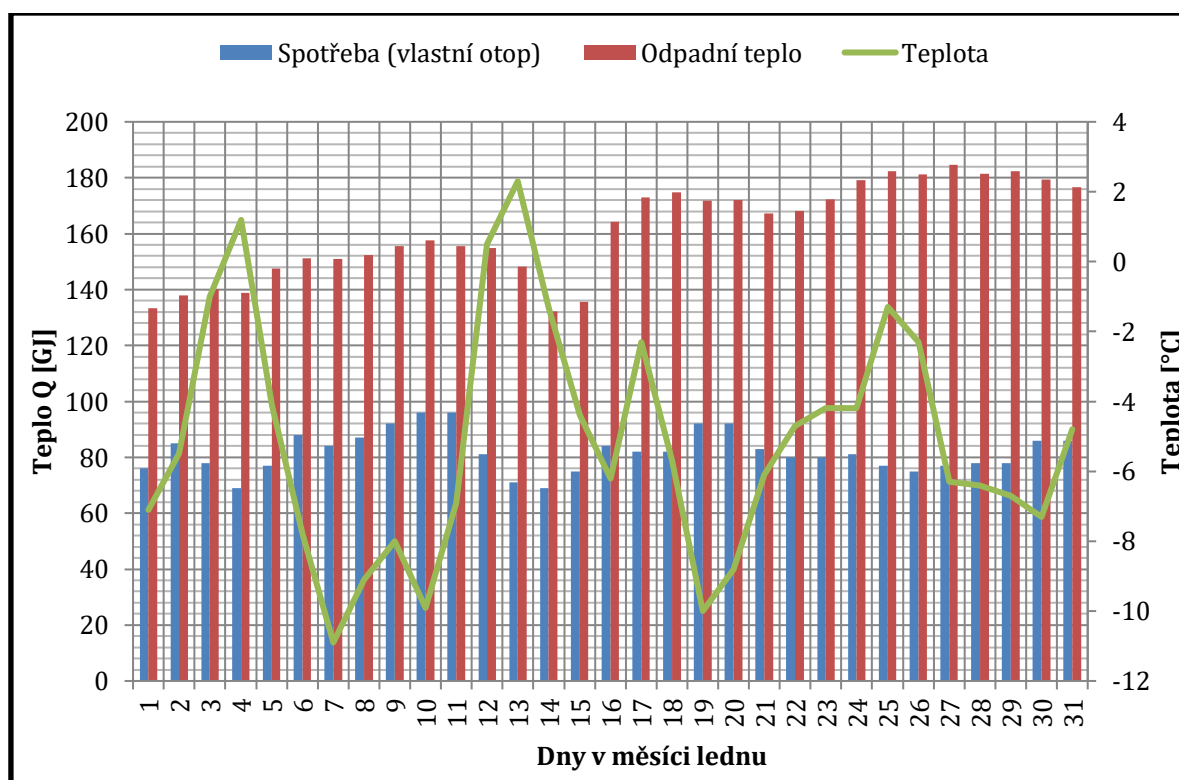
Teplárna Špitálka je vytápěna ve třech otopných větvích, které jsou označovány jako: administrativní budova, „dílny“ a kulturní dům se šatnami. Níže, v tabulce 7, můžeme vidět, jak se mění spotřeba teplárny v průběhu roku.

Měsíc	Spotřeba [GJ]		
	Administrativní budova	Kulturní dům	Dílny
Leden	490	229	1818
Únor	325	151	1249
Březen	243	86	841
Duben	199	67	692
Květen	76	23	270
Červen	38	0	64
Červenec	35	0	40
Srpen	38	0	38
Září	90	30	265
Říjen	178	68	639
Listopad	276	105	1017
Prosinec	345	144	1309
Celý rok	2333	903	8242
Spotřeba na provozu Špitálka za celý rok			11 478 GJ

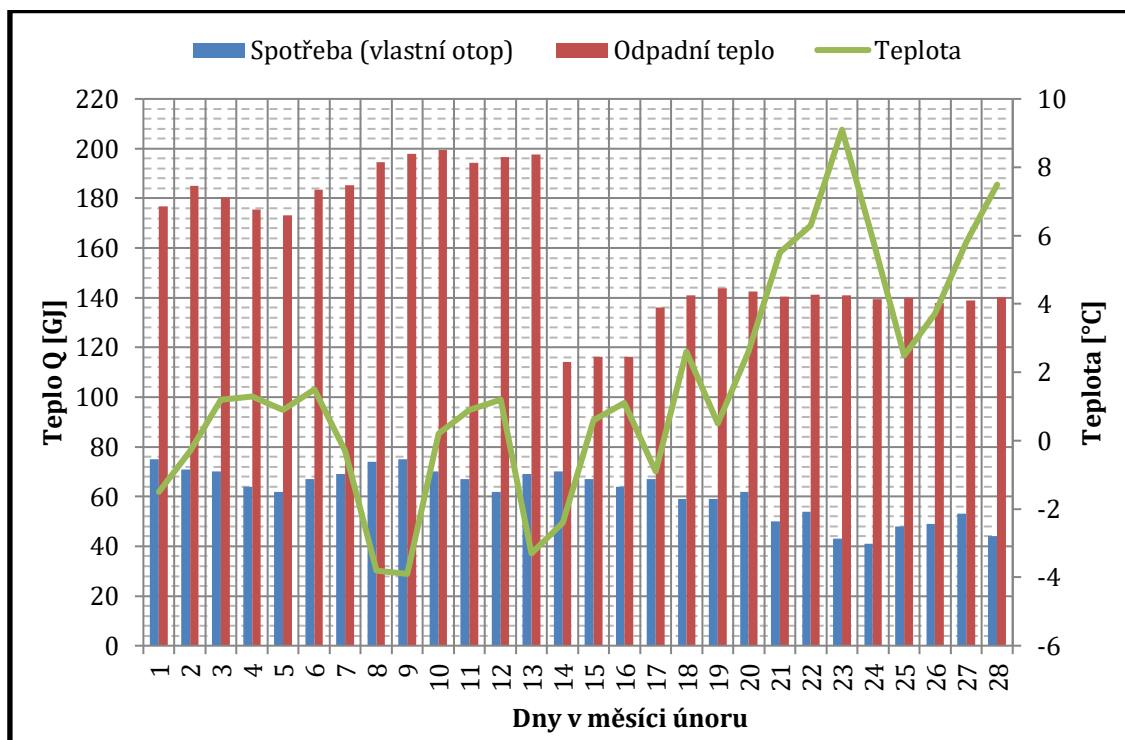
Tabulka 7 - Spotřeba tepla pro vytápění a TUV v průběhu roku 2017

Z tabulky 7 je patrné, že celková spotřeba tepla na zajištění výtopu a ohřevu TUV na provozu Špitálka činí 11478 GJ. Je třeba dodat, že údaje spotřeby tepelné energie na jednotlivých větvích jsou zaokrouhlovány na celé GJ. Tato data nejsou měřena s větší přesností. Jelikož data spotřeby tepelné energie byla odečítána v hodinových rozestupech, tak se v některých případech mohlo stát, že spotřeba byla výrazně odlišná od hodnoty zaokrouhlené na celé GJ. Vzniklou chybu jsme částečně omezili sečtením hodinových hodnot do celého dne.

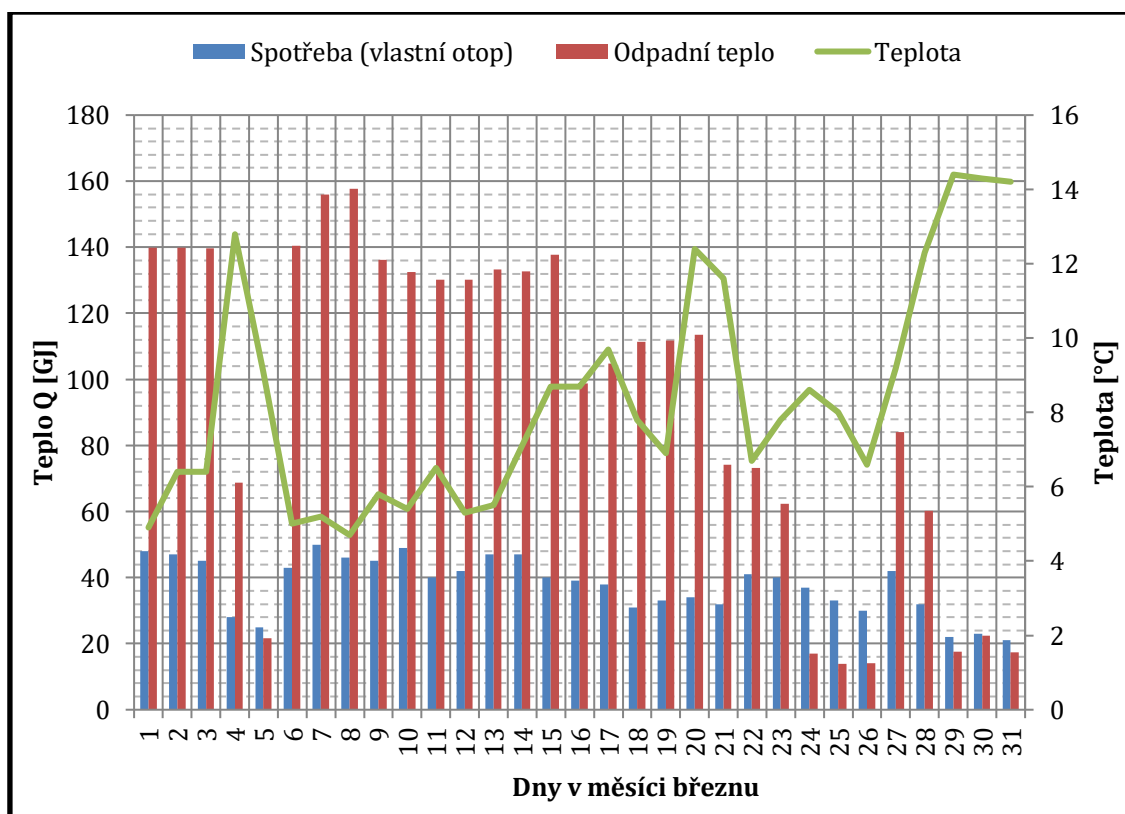
Grafy vzájemně porovnávají množství tepla na otop a tepla odpadního a znázorňují změnu velikosti odpadního tepla a spotřeby tepelné energie v závislosti na venkovní teplotě. Jedná se o průměrnou denní teplotu, která byla naměřena Českým hydrometeorologickým ústavem v Brně Tuřanech.



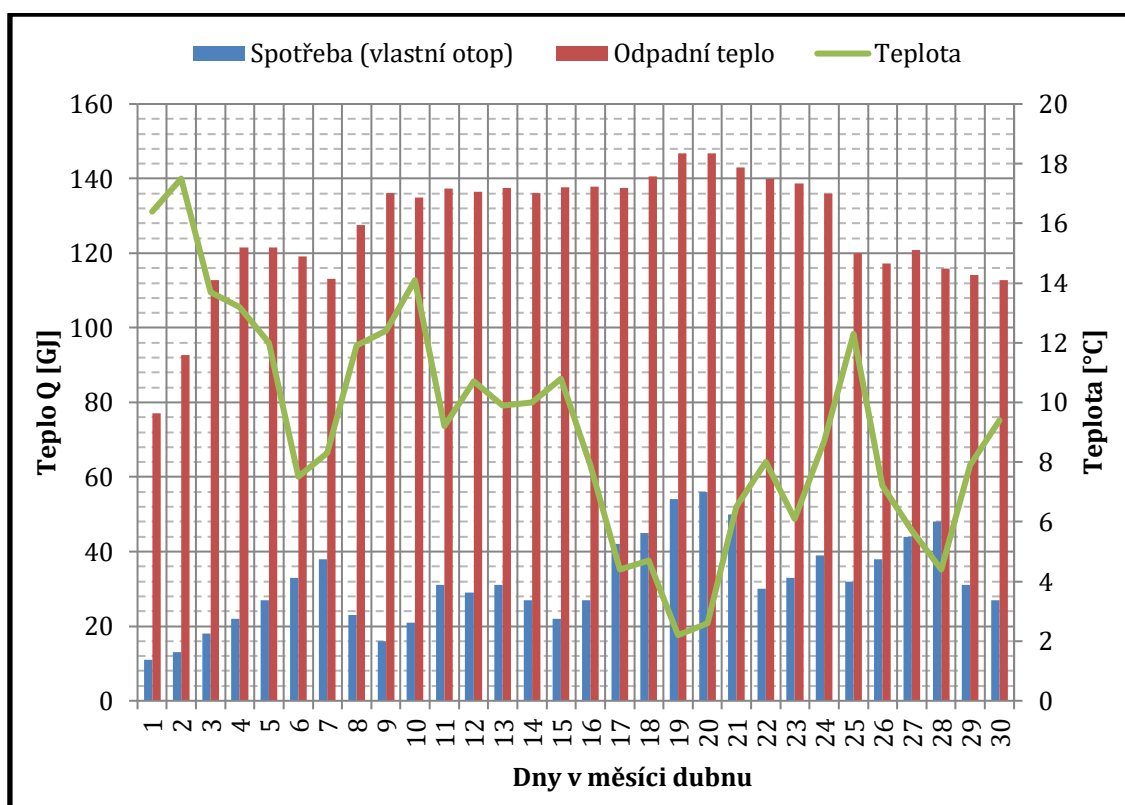
Graf 5 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, leden 2017



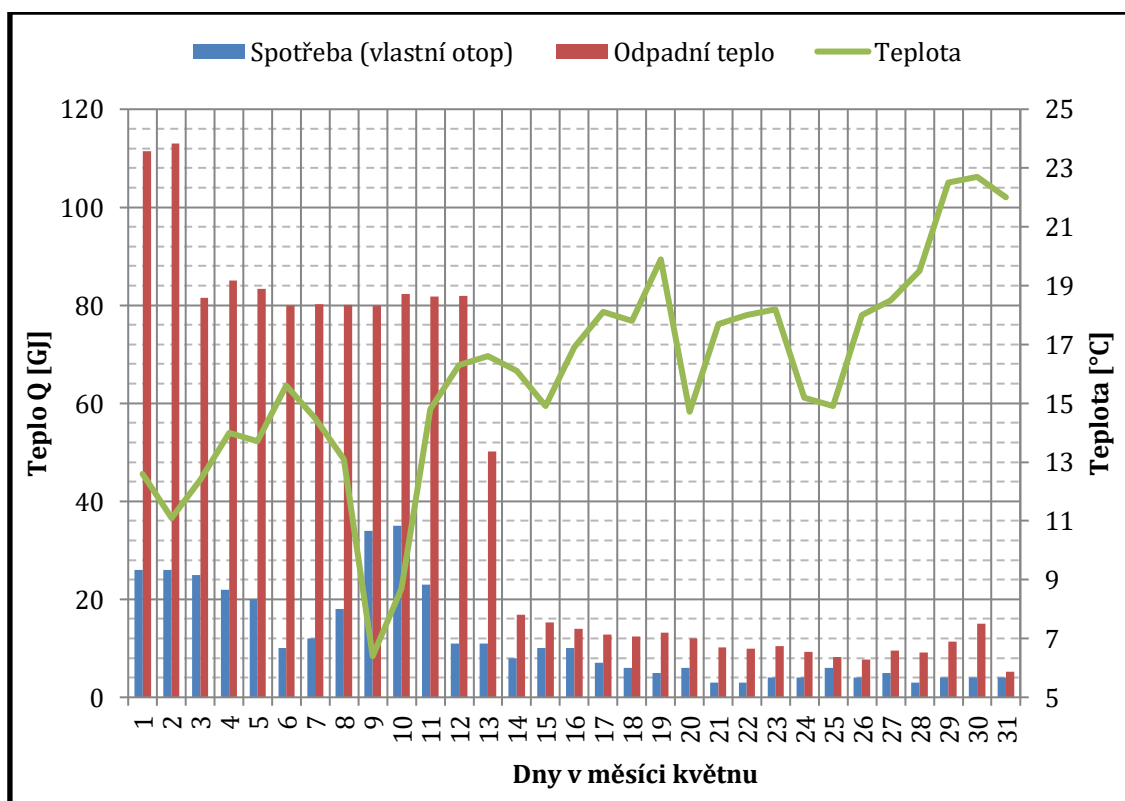
Graf 6 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, únor 2017



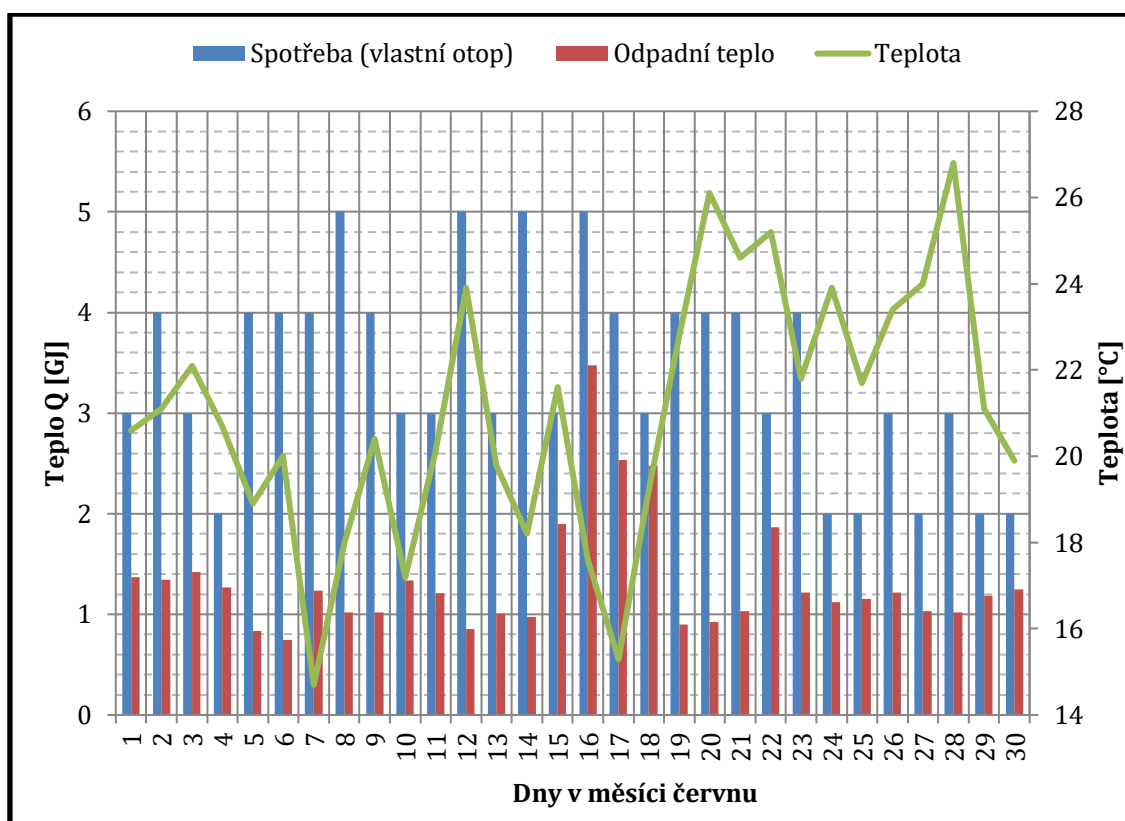
Graf 7 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, březen 2017



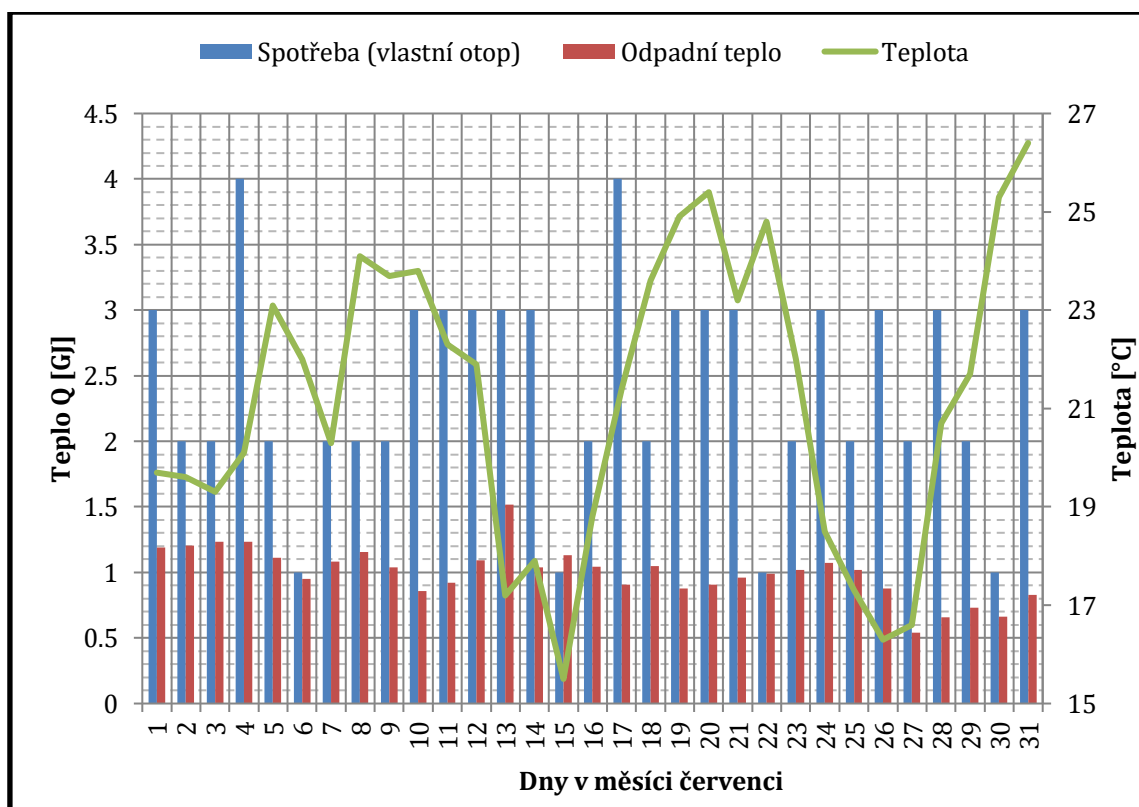
Graf 8 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, duben 2017



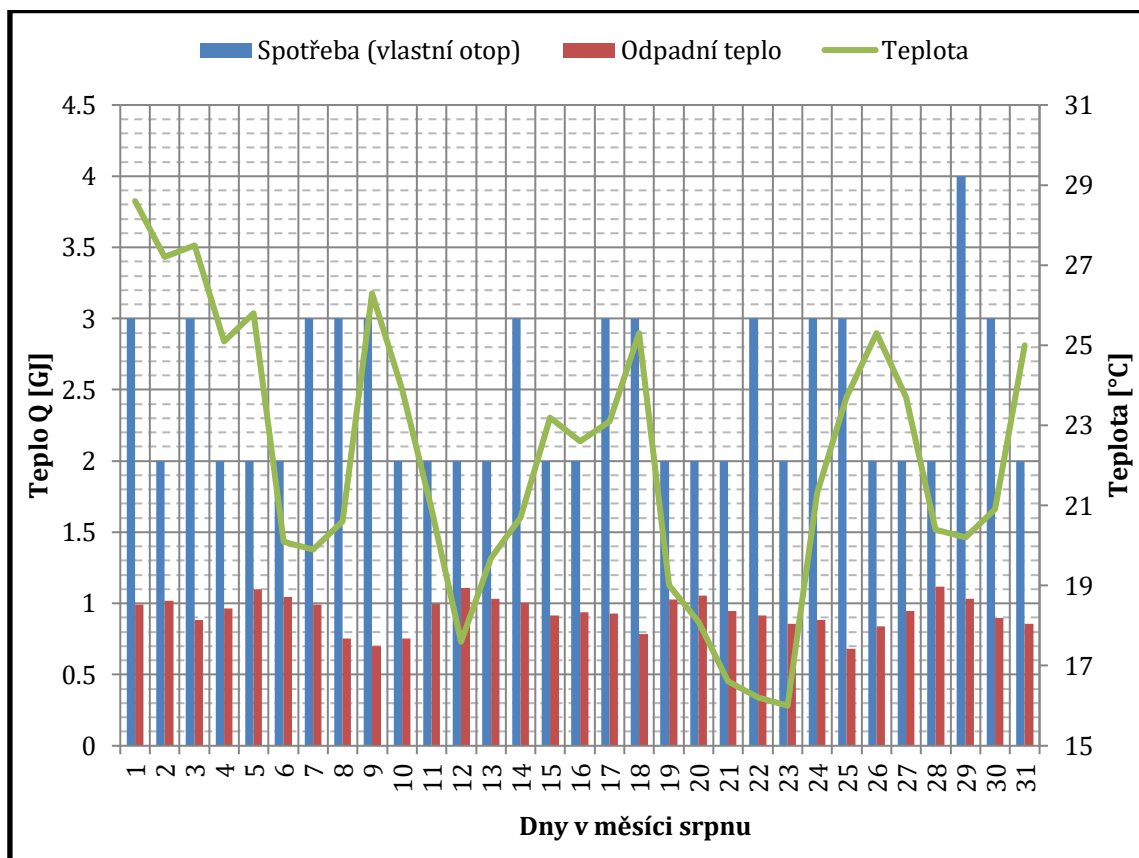
Graf 9 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, květen 2017



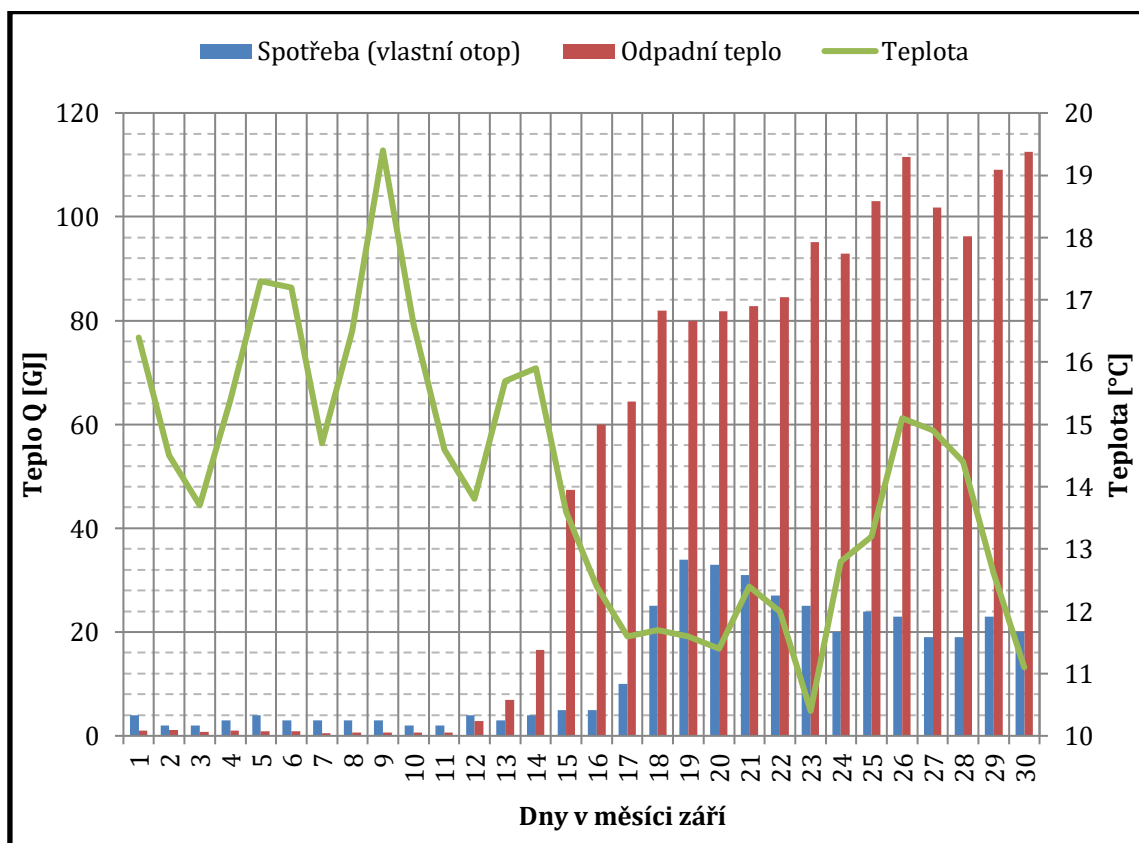
Graf 10 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, červen 2017



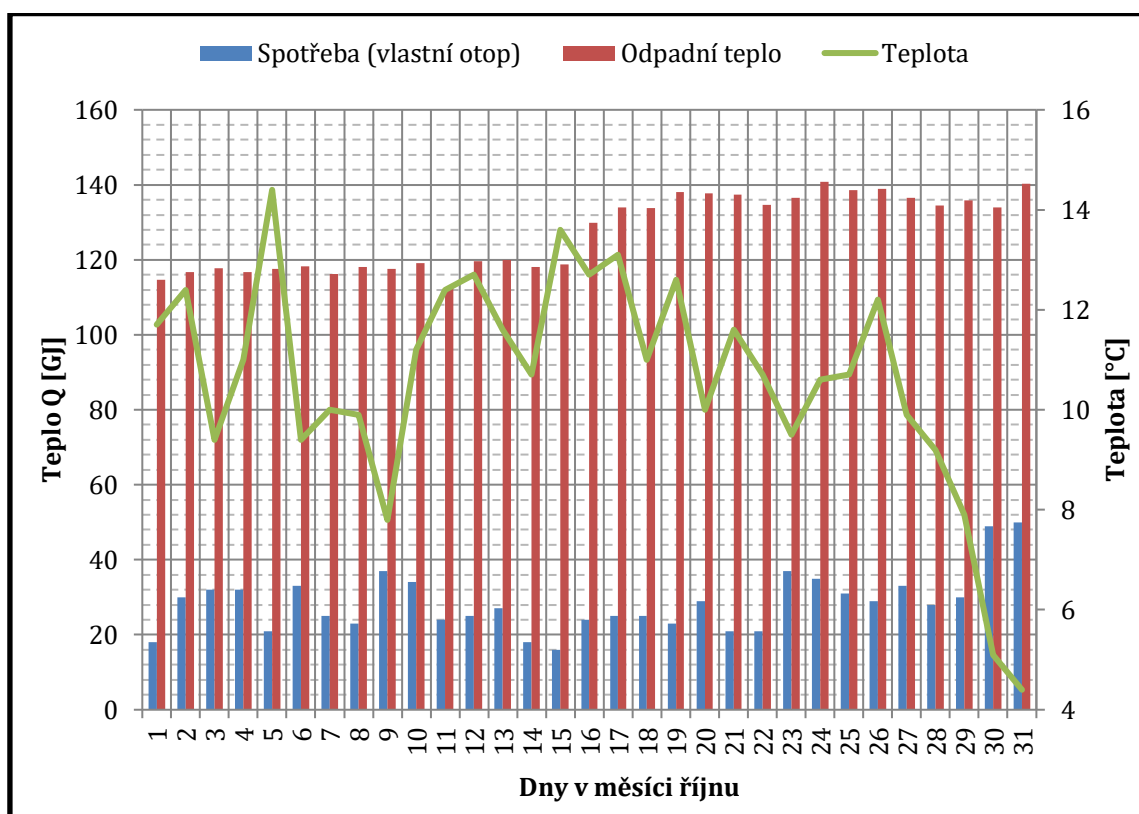
Graf 11 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, červenec 2017



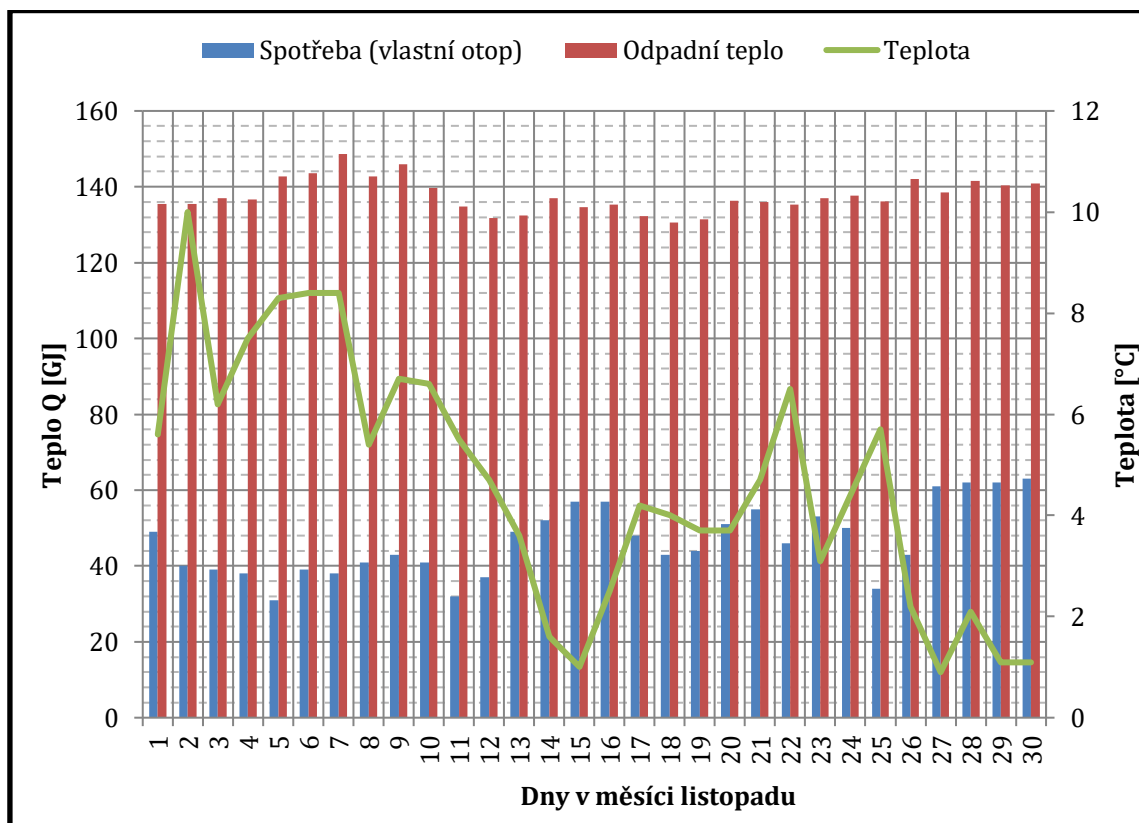
Graf 12 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, srpen 2017



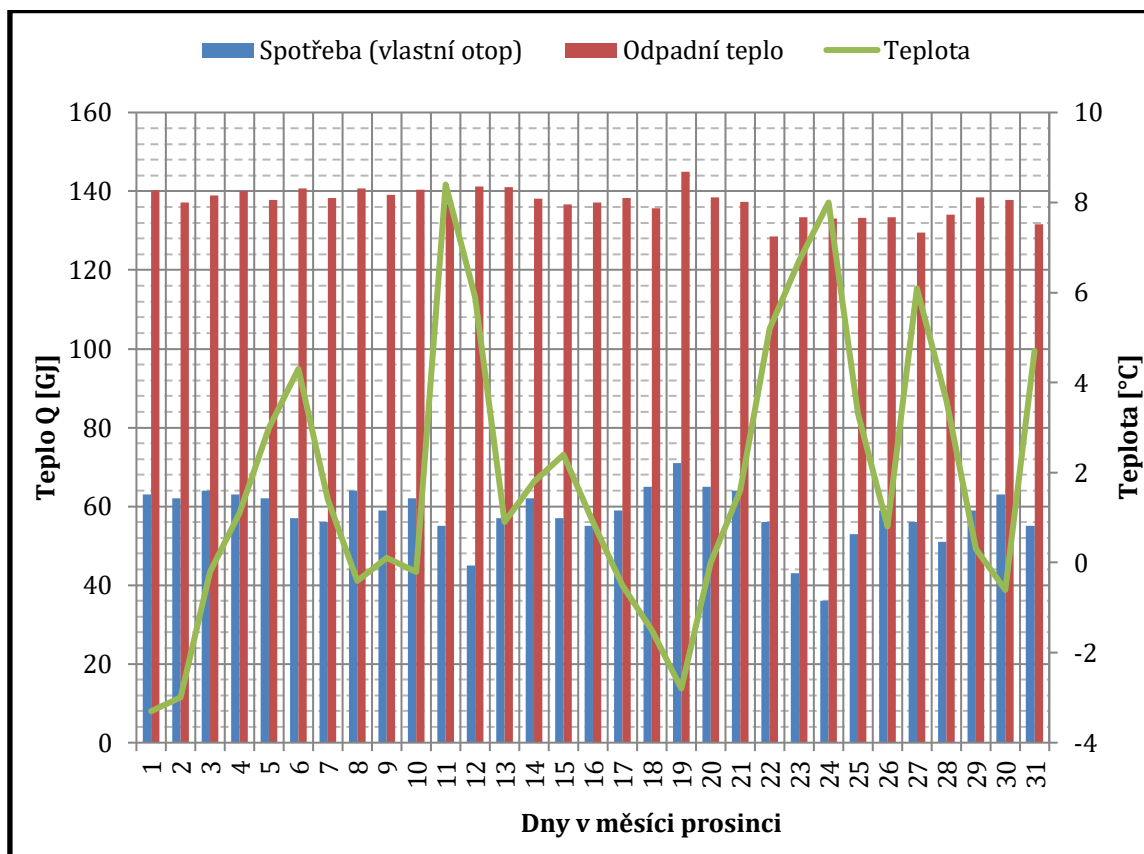
Graf 13 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, září 2017



Graf 14 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, říjen 2017



Graf 15 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, listopad 2017



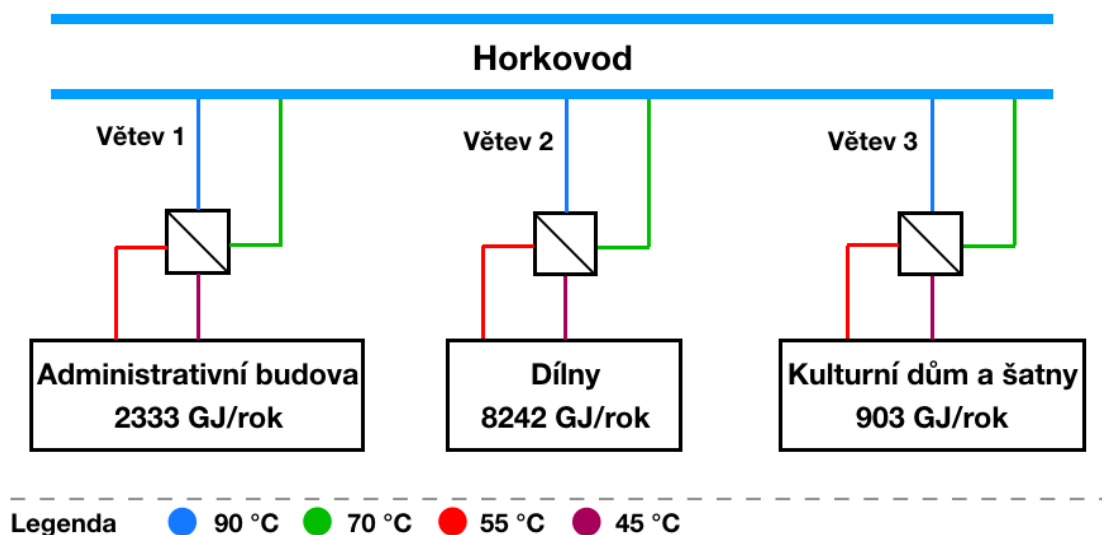
Graf 16 - Odpadní teplo v porovnání se spotřebou, prosinec 2017

Z výše uvedených grafů je patrné, že v topné sezóně značně převažuje odpadní teplo nad spotřebou. Potvrdily se tedy naše odhady, že UCHO dává k dispozici velké množství tepelné energie. V topné sezóně převyšuje odváděné odpadní teplo spotřebu teplárny jak pro vytápění, tak pro ohřev TUV. Platí to i v okrajových měsících dubnu, květnu, září a říjnu. Odstavení provozu na léto znamená rychlý pokles množství odpadního tepla. Obvykle je ale v tutéž dobu odstaveno vytápění, takže klesá potřeba tepla na otop na nulu a zůstává jen spotřeba na přípravu TUV (viz graf za měsíc květen). Porovnání grafů za měsíc květen a červen také ukazuje zásadní změnu měřítek. Odstávka provozu probíhá obvykle od 1.6. do 31.8. Zpět do sezóny najíždí teplárna v měsíci září podle průměrné venkovní teploty. Tento děj je zřetelný v grafu 13, kdy od 13. září dochází k rychlému nárůstu odpadního tepla, přičemž venkovní teplota dlouhodobě klesá pod 13°C. Během dalších dní již teplárna zůstává v provozu, i když se venkovní teplota krátkodobě zvýší i nad 15°C. Následující měsíce již teplárna opět běží v trvalém provozu, množství odpadního tepla je poměrně ustálené. Teplo na otop a TUV kolísá podle venkovní teploty a je výrazně nižší než teplo odpadní.

5 NÁVRH UPLATNĚNÍ ODPADNÍHO TEPLA, NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ

V předcházející kapitole jsme došli k závěru, že máme k dispozici poměrně velké množství využitelného odpadního tepla. Důležitým poznatkem je, že s rozdílným topným výkonem se velikost odpadního tepla mění pouze minimálně. UCHO je tedy stabilním zdrojem odpadního tepla. Jak již bylo naznačeno v předcházející kapitole, můžeme rozdělit topnou sezónu v závislosti na velikosti odpadního tepla do tří kategorií. Vysoká, střední a nízká výroba tepla.

Rozhodli jsme se, že odpadní teplo bude využito pro vytápění a ohřev TUV. Na provozu Špitálka je vytápění rozděleno do tří větví, jak bylo uvedeno výše. Administrativní budova, kulturní dům a šatny, dílny. Každá větev je vybavena svou výměňkovou stanicí napájenou teplem z horkovodu. Druhá strana výměníků je připojena na příslušný okruh topné vody a rozdělovač k jednotlivým prostorům. Zjednodušené schéma aktuálního způsobu vytápění je možno vidět na Obr. 5.1 níže.



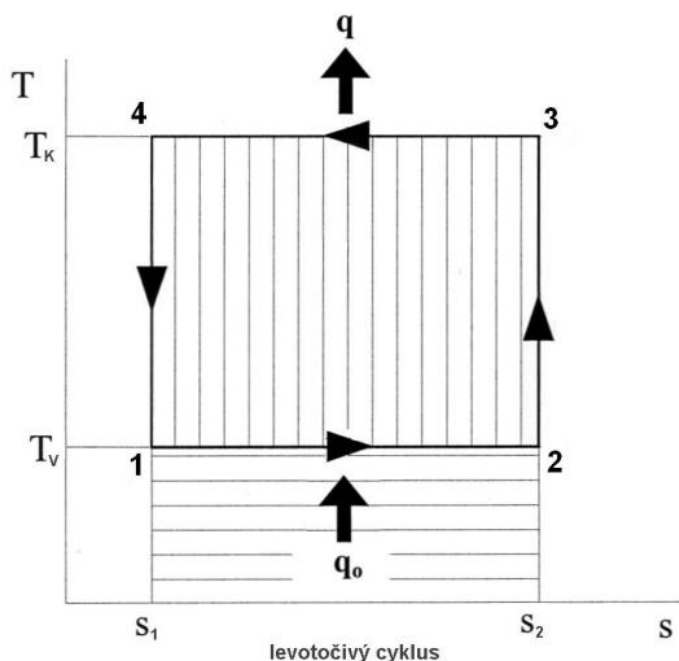
Obr. 5-1 - Současný způsob vytápění

Dosud zjištěné informace nyní použijeme k návrhu systému využívajícího odpadní teplo na vytápění větve „administrativní budova“. Tato větev je vybavena soustavou s radiátory a spádem teplot 55/45°C. Odpadní teplo z chladicího okruhu je nízkopotenciální, na ohřáté straně má chladicí voda mezi 35 a 42°C, po ochlazení dosahuje 15 až 20°C. Uvedené teploty jasně ukazují, že odpadní teplo nelze využít přímo, ale je potřeba nejprve zvýšit jeho teplotu. Tento úkol nejlépe splní tepelné čerpadlo (TČ). Teplota ohřáté chladicí vody je pro vstup TČ příliš vysoká, proto volíme napájení vstupu TČ ochlazenou chladicí vodou.

V dalších podkapitolách navrhne tepelné čerpadlo a další pomocná zařízení, která by byla schopna využít odpadní teplo z UCHO. Tepelné čerpadlo budeme navrhovat pro administrativní budovu. V závěrečné kapitole potom provedeme ekonomické zhodnocení, zdali by se takovéto využití odpadního tepla vyplatilo či ne.

5.1 Tepelné čerpadlo

Jedná se o zařízení řadící se mezi alternativní zdroje energie, neboť umožňuje odnímat teplo z okolního prostředí a převádět ho na vyšší teplotní hladinu a následně teplo účelně využít. Přecherpaní na vyšší teplotní hladinu se děje za dodání určitého množství energie. Tepelné čerpadlo pracuje na principu změny skupenství pracovní látky v závislosti na její teplotě a tlaku. Za ideálních podmínek můžeme tepelné čerpadlo považovat za motor, který pracuje v Carnotově cyklu. Obrázek takového cyklu můžeme vidět níže na Obr. 5.2.



Obr. 5-2 - Carnotův levotočivý oběh v T - s diagramu [27]

Jedná se o levotočivý oběh, který probíhá proti směru hodinových ručiček. Do oběhu je dodávána práce a zvyšuje se teplotní potenciál do oběhu přiváděného nízkopotenciálního tepla. Na Obr. 5.2 můžeme vidět, že nejprve dochází mezi body 1-2 k izotermickému vypařování teplotnosné látky (odebírání přírodního tepla chladivem). Mezi body 2-3 probíhá adiabatická komprese, respektive chladivo je stlačováno kompresorem. Ve výparníku poté dochází k odevzdání tepla topnému okruhu a ke zkapalnění chladiva. Tento proces vystihuje izotermická kondenzace, tedy stav mezi body 3-4. Stav mezi body 4-1 vystihuje adiabatickou expanzi.

5.1.1 Princip funkce tepelného čerpadla

Principiálně tepelné čerpadlo funguje na základě chladicího okruhu s parním oběhem. Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu. Výparník, kompresor, kondenzátor a škrtkovací ventil.

- Výparník

Teplo, které je odebráno venkovnímu prostředí (nízkopotenciální teplo), odevzdává svoji energii pracovní látce (chladivu) při poměrně nízké teplotě. Dochází k zahřátí chladiva a jeho následnému odpaření. Páry jsou nyní nositelem energie a přivádějí tuto energii na kompresor. Pracovní látka, která odevzdala svoji energii ve výparníku teplotnosné látce, čímž se ochladila, musí být opět ohřáta ve zdroji nízkopotenciálního tepla.

- Kompresor

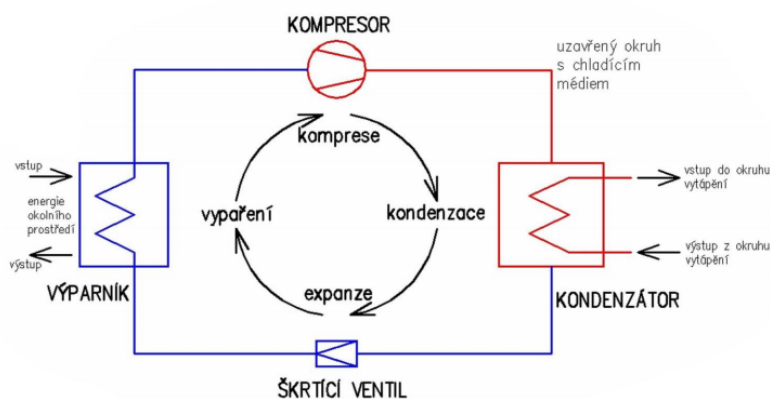
Páry, jež kompresor nasává z výparníku, jsou zde stlačovány na vysoký tlak a vytlačeny do kondenzátoru. Práce, která musela být vykonána na pohon kompresoru, se přeměňuje na teplo, které se připočte k teplu, jež bylo přivedeno do výparníku.

- Kondenzátor

Stlačená pracovní látka (chladiivo), která byla přivedena z kompresoru, zde předává svoji tepelnou energii do pracovní látky topného okruhu. Probíhá zde kondenzace chladiva, přičemž dochází k předání tepelné energie do pracovní látky topného okruhu (nejčastěji vody). Odevzdané teplo do pracovní látky topného okruhu má vyšší potenciál než teplo přivedené z nízkopotenciálního zdroje.

- Škrťací ventil

Ve škrťacím ventilu, kam je přiváděno zkapalněné chladivo, dochází ke snížení jeho tlaku na původní hodnotu ve výparníku. Zde dochází znovu k vypaření chladiva a celý cyklus se opakuje. Pracovní princip tepelného čerpadla, respektive technologické schéma tepelného čerpadla, je znázorněno na Obr. 5.3 níže.



Obr. 5-3 - Technologické schéma tepelného čerpadla [27]

Tepelná čerpadla jsou v poslední době, co by zástupce netradiční energetiky, čím dál tím častěji instalována na úkor klasických zdrojů tepla především díky ekonomické efektivnosti provozu.

5.1.2 Hodnocení energetické efektivnosti provozu tepelných čerpadel

Základním ukazatelem k hodnocení energetické efektivnosti tepelných čerpadel slouží tzv. topný faktor. Jedná se o podíl topného výkonu (tepla, které vychází z kondenzátoru) a energie, která musela být dodána na přečerpání energie. Topný faktor (nejčastěji označován jako COP – Coefficient of Performance) tedy vyjadřuje, o kolik větší energii získáme oproti dodané poháněcí energii.

$$\varepsilon = \frac{Q_T}{Q_E} \quad (-) \quad (5.1)$$

kde

Q_T získané teplo na výstupu TČ po přečerpání (topný výkon) (W)

Q_E dodaná energie potřebná pro výrobu tepla (W)

Pro výpočet topného faktoru lze také využít následující vzorce. Výpočet topného faktoru pro ideální Carnotův oběh je

$$\varepsilon_{c,id} = \frac{T_K}{T_K - T_V} \quad (-) \quad (5.2)$$

kde

T_K kondenzační teplota (K)

T_V vypařovací teplota (K)

Pro skutečný oběh potom platí následující vztah,

$$\varepsilon_{skut} = 0,9 + 0,74 \cdot \frac{T_V}{T_K - T_V} - 0,006 \cdot T_V - 0,765 \cdot \frac{T_V}{T_K} \quad (-) \quad (5.3)$$

který se dá také zapsat ve zjednodušené formě jako

$$\varepsilon_{skut,zj} = 0,4 \cdot \frac{(T_K + 273,15)}{(T_K - T_V)} \quad (-) \quad (5.4)$$

přičemž konstanta 0,4 nám udává ztráty, ke kterým dochází při provozování reálného tepelného čerpadla.

5.1.3 Typy tepelných čerpadel

Jednotlivé typy tepelných čerpadel se rozdělují na základě zdroje nízkopotenciálního tepla. Tepelná čerpadla tedy můžeme z hlediska zdroje nízkopotenciálního tepla dělit na:

- země – voda
- voda – voda
- vzduch – voda
- vzduch – vzduch

Poslední uvedený, tedy systém vzduch – vzduch, bývá často označován jako klimatizační jednotka. Z výše vyjmenovaných typů je patrné, o který zdroj tepla se v jednotlivých případech jedná. Země, voda, vzduch a odpadní teplo (ať už v jakékoliv formě) jsou prakticky bezplatné primární zdroje tepla k efektivnímu provozu tepelných čerpadel. Volba typu čerpadla pro konkrétní případ závisí na podmínkách v daném místě a na potřebě tepla.

Typ *země – voda* je velice rozšířený. Teplo se získává buď přes plošný (horizontální) trubkový kolektor, nebo pomocí hlubinného zemního vrtu. Výhodou tohoto typu jsou poměrně stálé podmínky a s tím související dobrý topný faktor. Porovnáme-li tepelné čerpadlo země – voda s plošným kolektorem a s hlubinným vrtem, potom čerpadlo s plošným kolektorem má nižší investiční náklady. Na druhou stranu je pro instalaci plošného kolektoru - na rozdíl od provedení s vrty - potřeba větší plocha.

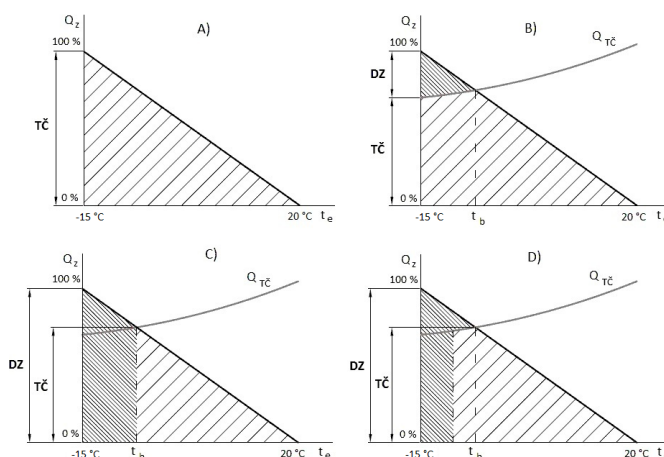
Tepelné čerpadlo *voda – voda* má vesměs stálé pracovní podmínky, z čehož plyne vysoký topný faktor. Jako zdroj nízkopotenciálního tepla jsou využívány povrchové či spodní vody, přičemž teplota spodní vody by neměla klesnout pod 7 °C. Spotřeba vody se obecně pohybuje 70 – 110 l/h na každý kilowatt topného výkonu. Je tedy třeba zajistit dostatečné množství vody.

Z toho vyplývá, že není jednoduché nalézt vhodný zdroj, který by zajišťoval úspěšný provoz systému voda – voda. V kapalně formě se rovněž může vyskytovat odpadní teplo např. z různých technologických procesů. Ve většině případů odpadní teplo vázané na kapalinu vytváří pro tepelné čerpadlo poměrně stálé podmínky pro provoz s dobrým topným faktorem.

Systém *vzduch – voda* nasává nízkopotenciální teplo jednoduše ze vzduchu. Jedná se o provedení s nejnižšími investičními náklady a v současné době se řadí na první místo v počtu instalací v ČR. Vzduch, jakožto zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelné čerpadlo, má prakticky neomezenou dostupnost. Pro kvalitní provoz je však zapotřebí velkého množství na výparníku. Nevýhodou tohoto typu tepelného čerpadla je zimní provoz. Neboť vzduch obsahuje určité procento vodní páry a již při teplotách kolem 0 °C dochází k námraze na povrchu výparníku. To má za následek zhoršení průchodu nízkopotenciálního tepla a tím pádem i snížení topného faktoru. V dnešní době jsou v těchto typech TČ používány tzv. Scroll (někdy též označovány jako rotační) kompresory, které jsou schopny pracovat až do teploty vzduchu sahající k -20 °C s poměrně dobrým topným faktorem, což bylo dříve s pístovými kompresory nemyslitelné. Tento typ TČ může rovněž jako zdroj tepla použít odpadní teplo z různých technologických procesů.

5.1.4 Způsoby provozu tepelného čerpadla

Existují dva základní způsoby provozu tepelných čerpadel. Prvním z nich je provoz monovalentní. Tento provoz se vyznačuje tím, že tepelné čerpadlo je jediným zdrojem tepelné energie. Tepelné čerpadlo musí být dimenzováno tak, aby plně pokrylo tepelnou ztrátu objektu i při té nejnižší teplotě venkovního vzduchu. Jelikož jsou tyto teploty v průběhu roku dosahovány jen minimálně, tepelné čerpadlo má tak nízké využití. Můžeme tvrdit, že je výkonově předimenzováno. Obecně se tento způsob provozu doporučuje pro objekty s nižšími topnými ztrátami. Energetické pokrytí tepelných potřeb při monovalentním provozu je možné vidět na Obr. 5.4 A), kde na ose x je znázorněna venkovní teplota a na ose y se nachází topný výkon.



Obr. 5-4 - Způsob provozu tepelných čerpadel [33]

Druhým způsobem provozu tepelných čerpadel je tzv. bivalentní provoz. Už z názvu vyplývá, že o výrobu tepla se budou starat dva zdroje. Jedná se vždy o tepelné čerpadlo – které se dimenzuje tak, aby pokrylo přibližně 50 – 80 % tepelných ztrát objektu – a k němu přídavný zdroj. K připnutí pomocného bivalentního zdroje nebo k přepnutí pouze na bivalentní zdroj dochází při tzv. bivalentní teplotě t_b . Průsečíku křivek tepelné ztráty objektu a topného výkonu tepelného čerpadla se říká bod bivalence. Bivalentní způsob provozu se ještě dělí na tři druhy, jimiž jsou:

- paralelně-bivalentní – dojde-li k poklesu teploty pod bod bivalence, k tepelnému čerpadlu se připojí pomocný zdroj a oba tyto zdroje potom pracují současně; Obr. 5.4 B)
- alternativně-bivalentní – kde tepelné čerpadlo kryje tepelné ztráty po teplotu bivalence, při překročení poté dochází k přepnutí na bivalentní zdroj, který přebírá veškeré tepelné ztráty a tepelné čerpadlo je odpojeno; tepelné čerpadlo bývá dimenzováno na méně než ostatní bivalentní způsoby provozu, a to na 25 – 50 % tepelných ztrát objektu; Obr. 5.4 C)
- částečné paralelně-bivalentní – je podobný jako paralelně-bivalentní způsob provozu, to znamená, že při teplotě bivalence dochází k připojení pomocného zdroje, ale jakmile přestane výkon tepelného čerpadla dostatečný, tak se čerpadlo odstaví a veškeré ztráty pokrývá bivalentní zdroj; Obr. 5.4 D)

5.2 Návrh tepelného čerpadla na provozu Špitálka

Správný návrh tepelného čerpadla je založen na znalosti tepelných ztrát objektu. Tepelné ztráty administrativní budovy nejsou známy. Vyšli jsme proto z hodnot celkové spotřeby tepelné energie (na vytápění a ohřev TUV) a z nich jsme tepelné ztráty dopočítali. Nejprve jsme spočítali podle ČSN 06 0320 denní a roční potřebu tepla na ohřev TUV. Při výpočtu jsme museli znát potřebu TUV pro administrativní budovu, která byla zjištěna z ČSN EN 12831-3.

Po výpočtu potřeby tepelné energie na ohřev TUV jsme odečetli tuto hodnotu od celkové spotřeby tepelné energie a dostali jsme potřebu energie na vytápění. Pokud známe roční potřebu tepla na vytápění, můžeme vypočítat tepelné ztráty na základě tzv. denostupňové metody. Obecně se tento způsob využívá na výpočet potřeby tepelné energie s tím, že počítá s tepelnými ztrátami. V našem případě jsme vyjádřili ze vzorce tepelné ztráty.

Jak bylo již uvedeno v předchozích kapitolách, hodinové odečty měření tepla na otop jsou měřicím systémem zaokrouhlovány na celé GJ. Vzhledem ke změřeným velikostem o hodnotách 0 až 4 GJ za hodinu je zřejmé, že zaokrouhlení v jedné hodině může způsobit značnou chybu. Námi zvolená metoda výpočtu tepelných ztrát ale pracuje s celkovou roční hodnotou, v které se chyba zaokrouhlení dle našeho předpokladu příliš zásadně neprojevuje.

Známe-li tepelné ztráty námi zvoleného objektu, můžeme přejít k samotnému návrhu tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo budeme navrhovat na 2/3 tepelných ztrát objektu. Nebudeme navrhovat na 100 % pokrytí tepelných ztrát, neboť maximální tepelné ztráty jsou v naší oblasti dosahovány jen velmi málo dní v roce. TČ dimenzované na plný výkon by vycházelo velmi drahé a velká část výkonu (1/3) by byla většinu roku nevyužitá. Zařízení tedy navrhujeme v paralelně bivalentním zapojení tak, aby při nejchladnějším období roku připínal další zdroj. V našem případě bude tímto zdrojem teplo z horkovodu.

5.2.1 Výpočty související s návrhem TČ

Jak bylo popsáno výše, nejprve jsme museli zjistit potřebu TUV pro administrativní budovu. Tyto hodnoty jsou vyobrazeny v Tabulce 8 níže.

Budova/Větev	Měrná jednotka	Počet	Specifická spotřeba teplé vody [l/(měrná jednotka).den]	TUV [l·den ⁻¹]	TUV celkem [l·den ⁻¹]
Administrativní	osoba	42	15	630	780
	sprchová koupel	5	30	150	

Tabulka 8 - Potřeba TUV

Pokud známe potřeby TUV pro naši administrativní budovu, můžeme se pustit do výpočtu potřeby tepelné energie na ohřev TUV. Nejprve vypočteme denní potřebu tepla na ohřev TUV, a to podle vzorce

$$Q_{TUV,d} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \cdot (1 + z)}{3600} \quad (\text{kWh}) \quad (5.5)$$

kde

ρ	hustota vody	($\text{kg} \cdot \text{m}^3$)
c	měrná tepelná kapacita vody	($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
V_{2p}	denní potřeba vody pro přípravu teplé vody	($\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$)
t_2	teplota ohřáté vody	($^{\circ}\text{C}$)
t_1	teplota studené vody	($^{\circ}\text{C}$)
z	tepelné ztráty při ohřevu a distribuci.	(-)

Roční potřeba tepla na ohřev TUV potom bude podle vzorce:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{55 - t_{svl}}{55 - t_{svz}} \cdot (350 - d) \quad (\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (5.6)$$

kde

d	počet dnů otopného období v roce	(dny)
t_{svl}	teplota studené vody v létě	($^{\circ}\text{C}$)
t_{svz}	teplota studené vody v zimě	($^{\circ}\text{C}$)

ρ	c	V_{2p}	t_2	t_1	z	d	t_{svl}	t_{svz}
$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-	dny	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
1000	4,182	0,78	55	10	0,5	240	15	8

Tabulka 9 - Potřebné hodnoty pro výpočet denní a roční potřeby tepla

Po dosazení z tabulky 9 do rovnic 5.5 a 5.6 dostaneme:

$$Q_{TUV,d} = \frac{1000 \cdot 4,182 \cdot 780 \cdot (55 - 10) \cdot (1 + 0,5)}{3600} = \underline{61,162 \text{ kWh}}$$

$$Q_{TUV,r} = 61,162 \cdot 240 + 0,8 \cdot 61,162 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 8} \cdot (350 - 240) = 19259,445 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$$= 19,259 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1} = \underline{69,334 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Známe-li potřebu tepla na ohřev TUV, můžeme spočítat potřebu tepla na vytápění. Jelikož známe celkovou spotřebu tepelné energie v otopné větvi „administrativní budova“, můžeme od ní odečíst námi právě vypočítaný výsledek. Spotřeba tepla administrativní budovy na vytápění tedy bude

$$Q_{VYT,r} = Q_{VYT+TUV,r} - Q_{TUV,r} = 2333 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} - 69,334 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} = 2263,666 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} \\ = \underline{628,796 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Jak již bylo naznačeno výše, nyní spočítáme za pomoci vyjádření neznámé (tepelné ztráty) z tzv. denostupňové metody, která slouží převážně pro výpočet potřeby tepelné energie pro vytápění. Vzorec pro výpočet potřeby tepelné energie na vytápění je

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot Q_c \cdot \varepsilon \cdot D}{t_{is} - t_e} \quad (\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (5.7)$$

kde

Q_c	tepelná ztráta objektu	(kW)
ε	opravný součinitel	(-)
D	počet denostupňů	(den · °C)
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota	(°C)
t_e	výpočtová venkovní teplota.	(°C)

Opravný součinitel se spočítá jako

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d}{\eta_0 \cdot \eta_r} \quad (-) \quad (5.8)$$

přičemž ε_i vyjadřuje nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem, ε_t vyjadřuje vliv snížení teploty v místnosti během dne a noci, ε_d udává vliv zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu a η_0 a η_r udávají účinnosti rozvodu a možnosti regulace soustavy.

Počet denostupňů se spočítá jako

$$D = (t_{is} - t_{es}) \cdot d \quad (\text{den} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (5.9)$$

t_{es}	průměrná venkovní teplota v otopném období.	(°C)
----------------	---	------

Budeme-li chtít z rovnice 5.7 vypočítat tepelné ztráty, vyjádříme rovnici do tvaru

$$Q_c = \frac{Q_{VYT,r} \cdot (t_{is} - t_e)}{24 \cdot \varepsilon \cdot D}, \quad (\text{kW}) \quad (5.10)$$

kteřou upravíme do následujícího tvaru.

$$Q_c = \frac{Q_{VYT,r} \cdot (t_{is} - t_e)}{24 \cdot \frac{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot (t_{is} - t_{es}) \cdot d} \quad (\text{kW}) \quad (5.11)$$

t_{is}	t_{es}	t_e	ε_i	ε_t	ε_d	η_o	η_r	d
°C	°C	°C	-	-	-	-	-	dny
20	4,4	-12	0,85	0,8	1	0,95	0,95	240

Tabulka 10 - Potřebné hodnoty pro výpočet tepelných ztrát

Po dosazení hodnot z tabulky 10 do rovnice 5.11 dojdeme k výsledku tepelných ztrát otopné větve „administrativní budova“.

$$Q_c = \frac{628796,111 \cdot (20 - (-12))}{24 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,95 \cdot 0,95} \cdot (20 - 4,4) \cdot 240} = 297,202 \text{ kW}$$

V Tabulce 11 můžeme vidět přehled potřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TUV. Pro přehlednost jsou hodnoty zaokrouhleny na tři platné číslice.

$Q_{TUV,d}$	$Q_{TUV,r}$		$Q_{VYT,r}$	
kWh·den ⁻¹	MWh·rok ⁻¹	GJ·rok ⁻¹	MWh·rok ⁻¹	GJ·rok ⁻¹
61,2	19,3	69,3	629	2260

Tabulka 11 - Přehled potřeby tepelné energie

Pokud budeme chtít znát výkon, na který budeme dimenzovat tepelné čerpadlo, nesmíme zapomenout na průměrný denní topný výkon pro ohřev TUV. Ten vypočteme vydělením denní potřeby tepla na ohřev TUV počtem hodin dne. Tento průměrný topný výkon tedy bude

$$P_{TUV} = \frac{Q_{TUV,d}}{24} = \frac{61,162 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} = 2,548 \text{ kW}.$$

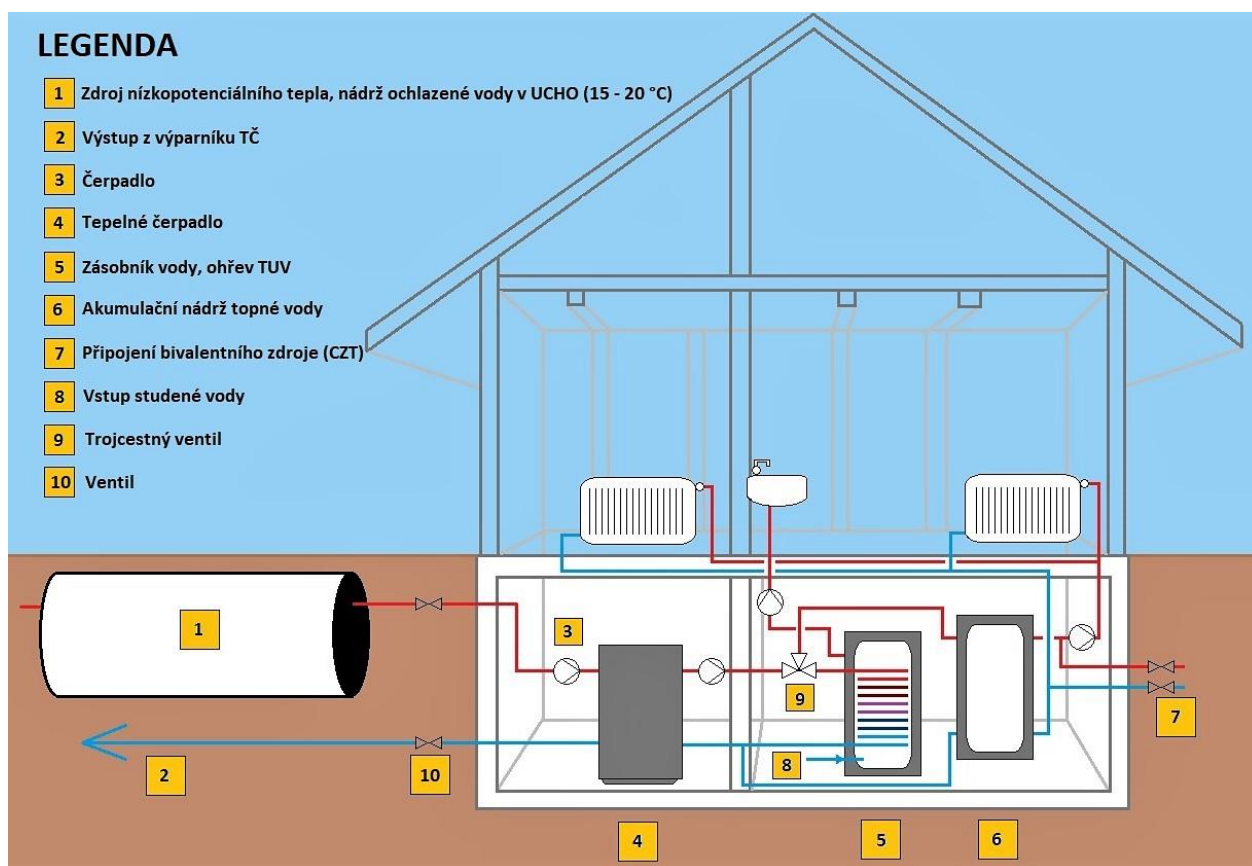
Nyní již jsme schopni určit, jaký výkon budeme potřebovat pro tepelné čerpadlo.

$$P_{t\check{c}} = \frac{2}{3} \cdot 297,202 \text{ kW} + 2,548 \text{ kW} = 200,683 \text{ kW}$$

5.2.2 Volba tepelného čerpadla a jeho hlavních součástí

Vzhledem k výkonové potřebě, kterou jsme vypočítali výše, volíme dvě tepelná čerpadla Rakouské firmy OCHSNER, konkrétně typ OWWP 99 plus se spirálovým (scroll) kompresorem a chladičem R410A. Nasazení tohoto čerpadla je podle výrobce vhodné pro objekty s velkou spotřebou tepla, jako jsou hotely, administrativní budovy nebo také průmyslové aplikace využívající odpadní teplo. Teplota vody je do primárního okruhu tepelného čerpadla přiváděna v rozmezí od 15 – 20 °C. Kvůli možným tepelným ztrátám na přívodu k tepelnému čerpadlu, a také vzhledem k tepelné záloze, byla pro výběr uvažována teplota 15 °C. Při vstupní teplotě do výparníku 15 °C a výstupní teplotě na kondenzátoru 55 °C je topný výkon tepelného čerpadla 107,3 kW, příkon 27,5 kW a COP 3,9.

Dalším prvkem otopné soustavy bude akumulční nádrž. Rozhodli jsme se pro zapojení, při němž topení a TUV oddělíme. Provoz tepelného čerpadla poté bude buď do TUV, nebo do topení. Podle [30] jedině takovýmto zapojením dosáhneme nejlepšího možného topného faktoru jak při vytápění, tak při ohřevu TUV. Topná voda tedy bude mít svoji akumulční nádrž a voda na ohřev TUV bude mít vlastní zásobník vody. TUV se bude ohřívat přes výměník (hada) na 55 °C. Pro vytápění bude akumulční nádrž bez výměníku, v němž se bude topná voda ohřívat na ekvitermní teplotu 30 – 55 °C. Za akumulční nádrží bude připojen bivalentní zdroj. Využijeme stávající horkovodnou výměníkovou stanici. Zjednodušené schéma zapojení je možno vidět na Obr. 5.5.



Obr. 5.5 - Schéma otopného systému

Při volbě akumulční nádrže budeme vycházet podle [30] z toho, že objem nádrže by měl být přibližně 20 litrů na 1 kW. Pro zásobník vody budeme vycházet podle [26] z následujícího vzorce:

$$V_{tzv} = \frac{Q_{TUV,d}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_{svz})} \cdot 3600 \quad (1) \quad (5.12)$$

Po dosazení do rovnice 5.12 dostaneme potřebný objem.

$$V_{tzv} = \frac{61,162}{1000 \cdot 4,182 \cdot (55 - 8)} \cdot 3600 \doteq \underline{1120 \text{ l}}$$

Z následujících informací tedy můžeme zvolit konkrétní akumulční nádrž a zásobník tepla. Tím, že máme zdroj tepla rozdělený na dva výkonové stupně, tak nemusíme dimenzovat akumulaci na 200 kW, ale jen na 100 kW. Neboť když nebudeme druhé tepelné čerpadlo potřebovat, tak ho necháme vypnuté. Nádrž bude společná pro obě čerpadla. Jak jsme již uvedli výše, objem nádrže má být 20 litrů na 1 kW výkonu. $V_{aku} = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ l}$. Budeme tedy potřebovat objem akumulční nádrže 2000 l. Volíme akumulční nádrž od firmy DZD (Družstevní závody Dražice – strojírna, s.r.o.), typ NAD 2000 v1 o objemu 2007 litrů. Zásobník vody pro ohřev TUV volíme rovněž od firmy DZD, typ OKC 1000 NTR/HP o objemu 1000 litrů.

Dále volíme oběhová čerpadla (OČ). Pro každé tepelné čerpadlo volíme dvě oběhová čerpadla. Celkem tedy čtyři oběhová čerpadla, přičemž volíme OČ značky Wilo, typ Yonos MAXO 40/0,5-12. Při průtoku $17 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ a výtlačné výšce 5 - 7 metrů má příkon 540 W. Stejně čerpadlo volíme i pro čerpání z akumulční nádrže. Pro čerpání TUV volíme GRUNDFOS Comfort UP 15-14 BA PM.

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Součástí ekonomického hodnocení nově navrženého systému by měl být odhad investičních nákladů, provozních nákladů a případně návratnost vynaložených investic. Jinak řečeno, doporučení, zdali se vyplatí takovýto systém pořizovat a provozovat či ne. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH.

6.1 Investiční náklady

Tepelné čerpadlo

OCHSNER, typ OWWP 99 plus

Podle firemního ceníku je námi vybrané tepelné čerpadlo za 27 946 €, což je při aktuálním kurzu 25,68 Kč za 1 € přibližně 717 653 Kč. Pořizujeme dvě čerpadla, cena tedy bude 1 435 306 Kč.

Akumulační nádrž

Dražice (DZD), typ NAD 2000 v1

Cena za akumulaci nádrž činí 23 951 Kč.

Zásobník vody na ohřev TUV

Dražice (DZD), typ OKC 1000 NTR/HP

Pořizovací cena činí 57 435 Kč.

Oběhová čerpadla

Wilo, typ Yonos MAXO 40/0,5-12

Cena jednoho čerpadla tohoto typu je 23 167 Kč. Jelikož potřebujeme pět takovýchto čerpadel, cena bude 115 835 Kč.

Čerpadlo TUV

GRUNDFOS, typ Comfort UP 15-14 BA PM

Výrobce udává cenu 4165 Kč.

Montáž a další komponenty

Provedli jsme rozvrh investic pouze základních součástí systému. Další součásti spolu s cenou za montáž, nastavení, odzkoušení a uvedení do provozu odhadneme. Podle dostupných ceníků firem zabývajících se montážemi tepelných čerpadel se cena za montáž pohybuje v řádech jednotek až desítek tisíc. Jelikož se v našem případě jedná o poměrně větší instalaci, budeme odhadovat cenu na 140 000 Kč. Cenu dalších doplňkových součástí pro instalaci, včetně možných prostorových úprav, odhadneme na 60 000 Kč. Cena za tyto dvě položky tedy odhadem činí 200 000 Kč.

Komponenta	Cena
Tepelná čerpadla	1 435 306,-
Akumulační nádrž	23 951,-
Zásobník vody na ohřev TUV	57 435,-
Oběhová čerpadla	115 835,-
Čerpadlo TUV	4165,-
Montáž a další komponenty	200 000,-
Celkem	1 836 692,-

Tabulka 12 - Přehled investičních nákladů

6.2 Porovnání systémů TČ a CZT, návratnost investice

V této podkapitole se zaměříme na porovnání dvou zdrojů tepelné energie. Na jedné straně stojí starý systém zásobování tepla, tzn. prostřednictvím horkovodu z CZT. Na straně druhé stojí systém tepelného čerpadla s bivalentním zdrojem ve formě horkovodu z CZT. V první řadě je potřeba uvést, ze kterých cen za energii budeme vycházet. Bude jednat o vnitřní ceny elektrické a tepelné energie na provozu Špitálka. Skutečné vnitřní ceny nejsou známy, proto je nahradíme odhady. Aktuální cena tepla podle ceníku společnosti Teplárny Brno, a.s. je 634,8 Kč/GJ a odhadem odečteme cenu za distribuci tepla, ztráty po trase a služby s tím spojené, dostaneme se na asi 485 Kč/GJ.

Základem ceny elektrické energie bude ceník společnosti EON pro sazbu D02d. Od cen pro domácnost odečteme poplatky za distribuci, OZE, služby ČEPS a přenos, a zbyde nám pouze silová elektřina. Odhad ceny proto stanovíme na 1,3 Kč/kWh. Nyní již můžeme spočítat, kolik bude stát provoz původního systému a nového.

Původní systém odebíral teplo ve formě horké vody. Celková spotřeba pro vytápění a ohřev TUV byla pro administrativní budovu 2333 GJ/rok. Uvažujme tedy, že cena tepla je 485 Kč/GJ. Poté nám vynásobením těchto dvou čísel vyjdou roční náklady na vytápění a ohřev TUV prostřednictvím CZT. Tyto náklady jsou

$$N_{CZT} = \text{celková spotřeba tepla} \cdot \text{cena tepla} = 2333 \cdot 485 = \underline{1\,131\,505 \text{ Kč}}$$

Pokud bude pracovat tepelné čerpadlo v bivalentním zapojení s horkovodem, náklady na vytápění budou následovné. Tepelné čerpadlo je navrženo na 2/3 ztrát, to znamená, že zbývající 1/3 připadá bivalentní zdroj. Uvažujme tedy, že tepelné čerpadlo pracuje na plný výkon a musel připojit bivalentní zdroj, aby se pokryla maximální tepelná ztráta. Musíme zjistit, jakou elektrickou energii je třeba dodat do kompresoru, aby bylo čerpadlem vyrobeno 2/3 potřebné energie (1555 GJ.rok^{-1} , což odpovídá 432 MWh). TČ má COP - pro naše teploty na vstupu a výstupu TČ - 3,9. Nyní si spočítáme, jakou energii je třeba dodat do kompresoru:

$$E_{kopres} = \frac{\frac{2}{3} \cdot \text{celkové spotřeby tepla}}{COP} = \frac{432}{3,9} \doteq \underline{111 \text{ MWh}}$$

Víme, že spotřeba elektrické energie při chodu TČ na svůj plný výkon je 111 MWh. Cena za dodání tepla TČ tedy bude:

$$N_{TČ} = \text{spotřeba el. energie} \cdot \text{cena elektřiny} = 111 \cdot 1300 \doteq \underline{144\,000 \text{ Kč}}$$

Bivalentní zdroj poté dodá 1/3 zbývajících potřebného tepla (778 GJ.rok⁻¹). To bude:

$$N_{CZT} = \frac{1}{3} \cdot \text{celková spotřeba tepla} \cdot \text{cena tepla} = 778 \cdot 485 = \underline{377\,000 \text{ Kč}}$$

Celková sena na provoz nového systému tedy bude

$$N_{TČ+CZT} = N_{TČ} + N_{CZT} = 144\,000 + 377\,000 = \underline{521\,000 \text{ Kč}}$$

Úspora nově navrženého systému TČ+CZT oproti starému CZT bude:

$$\Delta N = N_{CZT} - N_{TČ+CZT} = 1\,131\,505 - 521\,000 = \underline{610\,505 \text{ Kč}}$$

Tyto hodnoty neobsahují náklady na provoz pomocných komponent daných technologií. Je zde proveden výpočet čistě na základě spotřeby energie a její ceny podle daného zdroje.

Návratnost takové investice poté bude

$$\text{návratnost} = \frac{\text{investiční náklady}}{\Delta N} = \frac{1\,836\,692}{610\,505} = \underline{3 \text{ roky}}$$

Níže je možné vidět shrnující Tabulku 13, která obsahuje náklady za spotřebovanou energii podle daného způsobu vytápění otopné soustavy. V tabulce je tedy jasně vidět, že roční úspora mezi stávající a nově navrženou soustavou činí 610 505 Kč. Budeme-li uvažovat neměnnou cenu elektřiny v následujících letech, prostá návratnost bude přibližně 3 roky.

	Odhadovaná cena elektřiny je 1,3 Kč/kWh
TČ a bivalentní zdroj	521 000,-
Horkovod (CZT)	1 131 505,-
Roční úspora při provozování nového systému	610 505,-
Prostá návratnost investice	3 roky

Tabulka 13 - Souhrnná tabulka, návratnost investic

Můžeme vidět, že nový systém by ročně šetřil přibližně 610 000 Kč. Doba návratnosti se jeví jako velice přijatelná. Doba prosté návratnosti je velmi příznivá především kvůli nízké ceně elektrické energie vyrobené přímo na provoze, ale také tím, že vstupní teplota vody do TČ je poměrně vysoká (15 °C). To způsobuje nižší spotřebu primární energie na provoz.

7 ZÁVĚR

V první části diplomové práce je popsán princip fungování teplárenského oběhu. Ten pracuje na základě Rankin-Clausiova tepelného oběhu. Princip fungování tepláren je tedy velmi podobný klasickým kondenzačním elektrárnám. Hlavní rozdíl je ale v tom, že teplárny nemají kondenzátor a pára kondenzuje ve staničních výměnících. Většina tepláren dnes funguje na základě kogenerační výroby. Jedná se o kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Hlavní výhodou tohoto systému je, že dochází k maximálnímu využití energie primárního paliva. Účinnost takového zařízení se poté pohybuje kolem 80%. Nejpoužívanějšími palivy v teplárnách na území ČR jsou uhlí a zemní plyn.

V druhé části diplomové práce je rozebrán provoz Špitálka. Jedná se o teplárnu, která pracuje na způsobu kogenerační výroby elektřiny a tepla. Teplárna na Špitálce patří pod společnost Teplárny Brno, a.s., která provozuje na území města Brna centrální zásobování teplem. Špitálka je nejstarší ze všech provozů v Brně. Instalovaný tepelný výkon provozu je 411 MW_t a instalovaný elektrický výkon je 80,6 MW_e. V práci je detailně popsána celá technologie provozu, včetně vysvětlení principu úpravy vody. Provoz Špitálka je napojen do soustavy CZT. Dodává tedy teplo k zákazníkům buď ve formě horkovodů, nebo parovodů. Aktuálně společnost Teplárny Brno, a.s. pracuje na výměně starých parovodů za horkovody. Od této výměny se očekává snížení ztrát vzniklých distribucí. S tím do budoucnosti souvisí i snížení cen za teplo.

Další částí práce bylo vyhledat zdroje odpadního tepla a určit jejich potenciál. Jako jediný použitelný zdroj odpadního tepla jsme identifikovali odpadní vodu z uzavřeného chladicího okruhu. Potenciál odpadního tepla velký. Odpadní teplo, jež jsme schopni získat, se nachází v rozmezí 3 - 8 GJ za hodinu. Velikost odpadního tepla se poté odvíjí od potřeby tepla. Vzhledem k tomu, že máme velké množství odpadního tepla, navrhly jsme jeho možné využití pro vytápění a ohřev TUV. Sestrojili jsme grafy, které ukazují, že odpadní teplo plně pokrývá spotřebu tepla na Špitálce. Odpadní teplo jsme se rozhodli využít pro vytápění a ohřev TUV v administrativní budově.

Jako technologii pro vytápění a ohřev TUV jsme zvolili tepelné čerpadlo voda-voda. Spočítali jsme tepelné ztráty objektu (297 kW), potřebu tepla na ohřev TUV a potřebu tepla na vytápění. Tepelné čerpadlo jsme dimenzovali na 2/3 tepelných ztrát objektu. Otopný systém tedy bude pracovat v paralelně bivalentním zapojení s CZT. V případě když TČ nebude výkonově stačit na pokrytí ztrát (hlavně ve velice chladných dnech) se k němu připne bivalentní zdroj. Celkové investiční náklady na pořízení takového systému jsme na základě dostupných cen a na základě odhadu stanovili na přibližně 1 836 692 Kč.

V závěru jsme vyhotovili ekonomické ohodnocení. Podle vypočtených hodnot by se nová otopná soustava vyplatila. Systém TČ s bivalentním zdrojem by oproti stávajícímu řešení (vytápění prostřednictvím CZT) šetřil asi 610 000 Kč ročně. Doba prosté návratnosti poté vychází velice přijatelně na 3 roky. Doba návratnosti je nízká především kvůli poměrně vysoké teplotě vody (15 °C) na vstupu do TČ.

Můžeme tedy tvrdit, že případná provedená změna zdroje pro vytápění a ohřev TUV na provozu Špitálka, by z finančního hlediska byla velmi přínosná.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 615 s. ISBN 80-7300-026-1.
- [2] KADRNOŽKA, Jaroslav. Tepelné elektrárny a teplárny. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984, 607 s.
- [3] DOLEŽAL, Jaroslav. Jaderné a klasické elektrárny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 259 s. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [4] REISS, Ladislav, Karel MALÝ a Zdeněk PAVLÍČEK. Teoretická elektroenergetika I. 1. vyd. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967, 337 s. Edícia elektrotechnickej literatúry (Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry).
- [5] MATOUŠEK, Antonín. Výroba elektrické energie. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav elektroenergetiky, 2007, 139 s. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [6] MASTNÝ, Petr. Výroba elektrické energie – Energetické výroby. [online prezentace]. Brno: Ústav elektroenergetiky, VUT, [cit. 2015-10-25]. Dostupný z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [7] Teplárenství - Výroba energie. In: MojeEnergie [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/teplarenstvi-vyroba-energie>
- [8] MASTNÝ, Petr. Výroba elektrické energie – Uspořádání tepelných elektráren. [online prezentace]. Brno: Ústav elektroenergetiky, VUT, [cit. 2015-10-25]. Dostupný z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [9] Vytápění. In: Publi.cz - Učební texty pro obor vytápění [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/177/02.html>
- [10] Elektrárny Opatovice a.s. [online]. Opatovice nad Labem [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.eop.cz/kontakt>
- [11] Teplárny Brno [online]. Brno [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz>
- [12] MASTNÝ, Petr. Výroba elektrické energie – Elektrická část elektráren. [online prezentace]. Brno: Ústav elektroenergetiky, VUT, [cit. 2015-10-25]. Dostupný z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [13] MASTNÝ, Petr. Výroba elektrické energie – Obnovitelné zdroje energie, část 1. [online prezentace]. Brno: Ústav elektroenergetiky, VUT, [cit. 2015-10-25]. Dostupný z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [14] Expandér kondenzátu. Spirax sarco [online]. 1997, 07 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.spiraxsarco.com/global/cz/Products/Documents/KE4341%20expandér%20kondenzátu%20ti.pdf>
- [15] Úprava vody pro výrobu páry [online]. Zlín, 2011 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/15501/vejrosta_2011_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [16] Meteorologické záznamy rok 2017. Fotografie, články, Halové jevy, Záznamy počasí [online]. Brno [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2017/>
- [17] TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČR. Teplárny snížilidíky investicím emise prachu. In: Tzb info [online]. 3.11.2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/16507-teplarny-snizily-diky-investicim-emise-prachu-o-vice-nez-tretinu>

- [18] Co je to kavitace. In: TOP TOPENÍ [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.top-topeni.eu/cs/co-je-kavitace>
- [19] POLACH, Vladislav. Kotle [online]. , 75 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/005_Parn-kotle---Polach---P0.pdf
- [20] PLEBAN, Jakub. Technologické řešení teplárny na Biomasu s pístovým parním motorem. Brno, 2009. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Škorpík, PH.D.
- [21] Porovnání jednotlivých způsobů vytápění. In: CEZ.cz [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/teplarenska/cs/radce/porovnani-jednotlivych-zpusobu-vytapeni.html>
- [22] Teplárenské sdružení ČR [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz>
- [23] MASTNÝ, Petr. Malé zdroje elektrické energie – Tepelná čerpadla. [online prezentace]. Brno: Ústav elektroenergetiky, VUT, [cit. 2015-10-25]. Dostupný z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [24] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-031-8.
- [25] Vytápění teplem ze vzduchu a země. VIESSMANN [online]. 2018, 65 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/Prospekty/Vytapeni_teplem_ze_vzduchu_zeme.pdf/jcr_content/renditions/original.media.file.download_attachment.file/Vytapeni_teplem_ze_vzduchu_zeme.pdf
- [26] Projekční podklady a pomůcky. Katedra technických zařízení budov ČVUT [online]. Praha [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&typ=0>
- [27] MASTNÝ, Petr, Jan MORÁVEK a Jiří PITRON. Malé zdroje elektrické energie - skriptum [online]. 2015. Brno: VUTBR, 2015 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz>
- [28] MASTNÝ, P., MATOUŠEK, A. Využití odpadního tepla v EDU. Brno: UEEN VUT FEI, 2000. 89 s. Diplomová práce.
- [29] FIALA, Michal. Vytápění bytového domu: Tepelná čerpadla a plynový kotel. In: Tzbinfo [online]. 5.3.2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9621-vytapeni-bytoveho-domu-tepelna-cerpadla-a-plynovy-kotel>
- [30] Správné zapojení tepelného čerpadla. ABECEDA tepelných čerpadel [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/spravne-zapojeni>
- [31] Price list. OCHSNER heat pumps [online]. 2017, , 91 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.accubel.be/pdf/Liste-de-prix/Ochsner_liste-prix_EXPORT_2017_EN.pdf
- [32] Technický list OWWP 99 PLUS. OCHSNER heat pumps [online]. , 2 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.ochsner.cz/uploads/produkty/OWWP_99_plus.pdf
- [33] KRAINER, Robert. Postup při návrhu tepelných čerpadel: Tepelná čerpadla [online]. In: . 2015, 9.3. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>
- [34] BOHŮN, V. Využití odpadní vody v EDU pro vytápění. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 56 stran.
- [35] Tzbinfo: Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>